

24524/H/06



TUGAS AKHIR
(LS 1336)

**PENGGANTIAN KATALIS TEMBAGA MENJADI
BESI PADA PROTOTIPE NTP – KATALIS DALAM
MEREDUKSI EMISI NO_x**



RISP
623.87236
Pam
p-1
2005

Disusun Oleh :

SAPTO PAMBUDI
NRP. 4200 100 011

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	19-8-2005
Terima dari	H
No. Agenda Prp.	223348

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2005**

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR


PENGANTIAN KATALIS TEMBAGA MENJADI BESI PADA PROTOTYPE NTP – KATALIS DALAM MEREDUKSI EMISI NO_x

**Diajukan guna memenuhi salah satu syarat untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

Surabaya, Agustus 2005

Mengetahui / Menyetujui,

Dosen Pembimbing I,


Ir. Aguk Zuhdi, MF. MEng.
NIP. 131 646 637



Dosen Pembimbing II,


Ir. M. Orianto, BSE. MSc.
NIP. 130 786 955



**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA
KAMPUS ITS KEPUTIH SUKOLILO SURABAYA 60111
Telp. (031) 5994754, 5994251-55 Pes. 1102, Fax. 5994754**

**SURAT KEPUTUSAN Pengerjaan Tugas Akhir
(LS 1336)**

Sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS, maka perlu diterbitkan surat Keputusan Pengerjaan Tugas Akhir yang memberikan tugas kepada mahasiswa tersebut dibawah ini untuk mengerjakan Tugas sesuai judul dan lingkup bahasan yang telah ditentukan.

Nama Mahasiswa : Sapto Pambudi
NRP : 4200 100 011
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Aguk Zuhdi MF, MEng
2. Ir. M.Orianto, BSE. MSc.
Tanggal diberikan tugas :
Tanggal diselesaikan tugas :
Judul Tugas akhir :

*PENGGANTIAN KATALIS TEMBAGA MENJADI BESI PADA PROTOTIPE
NTP – KATALIS DALAM MEREDUKSI EMISI NO_x*

Surabaya,
Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan – ITS

Ir. Surjo Widodo Adjie, MSc.
NIP. 131 879 390

Surabaya,
Yang menerima tugas :

Mahasiswa

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Sapto Pambudi
NRP. 4200 100 011

Ir. Aguk Zuhdi MF, M.Eng
NIP. 131 646 637

Ir. M. Orianto, BSE.MSc.
NIP. 130 786 955

*Xupersembahkan Tugas Akhir ini buat
Ayah dan Ibuku tercinta*

ABSTRAK

Pengembangan teknologi plasma untuk mereduksi emisi sudah mulai banyak dibidik oleh para pakar emisi dan pemerhati lingkungan hidup. Khususnya dalam bidang mesin diesel yang kadar emisi NOx menjadi masalah terbesarnya. Para pakar telah mulai mencari kombinasi yang sesuai antara teknologi plasma ini dengan teknologi kimia katalis. Sebagaimana penelitian yang telah ada, sebuah prototype NTP – Katalis tembaga yang sedianya mampu mengurangi emisi ternyata menunjukkan hasil yang kurang optimal. Penyerapan emisi yang kurang optimum tersebut disebabkan karena tidak sesuainya tembaga digunakan sebagai katalis untuk mesin diesel.

Tugas Akhir ini mempresentasikan penggunaan treatment Non-thermal plasma yang dikombinasikan dengan katalis besi untuk mereduksi emisi NOx pada motor diesel sebagai pengembangan dari prototype NTP – Katalis Tembaga yang telah ada. Tugas Akhir ini bertujuan untuk membuktikan performa besi sebagai katalis. Dalam Tugas Akhir ini terbukti bahwa besi telah berhasil mereduksi emisi NOx meskipun tingkat keaktifannya kurang begitu signifikan. Dengan katalis besi, torsi maksimum mengalami kenaikan sebesar 3.64% dari standard, daya maksimumnya dapat dipertahankan sama dengan standard. Dengan katalis besi efisiensi efektifnya dapat dinaikkan 10% lebih baik dari pada katalis tembaga.

ABSTRACT

Development of plasma technology to reduce the emission have started a lot of aimed at by all expert of emission and environment observer. Specially in the field of diesel engine which rate of emission NOx become his biggest problem. All expert have started to look for the appropriate combination among plasma technology and chemical catalyst technology. As research which there have, a prototype NTP - Copper Catalyst which is as ready as able to lessen the emission, in the reality show the result which less be optimal. Emission absorbtion which less be the optimum caused by inappropriate copper used as catalyst for the diesel engine.

This Final Project present the use of Non -Thermal Plasma treatment combined by iron catalyst to reduce the emission NOx at diesel motor as development from prototype NTP - Copper Catalyst which there have. This Final Project aim is to prove the performa iron as catalyst. In this Final Project is proven that iron have succeeded to reduce the emissi of NOx although its activity level less so significant. By iron catalyst, maximum torsi experiencing of increase equal to 3.64% from standard, the maximum power defensible as equal as standard. By iron catalyst, it effective effisiensi can be boosted up 10% is better than at copper catalyst.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan Hidayahnya berupa kesehatan & ilmu pengetahuan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini pada waktu yang telah ditentukan.

Penyusunan Tugas akhir ini merupakan persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Tugas akhir yang disajikan dalam bentuk laporan tertulis sebagai bentuk ilmiah.

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa masih jauh dari yang diharapkan untuk itu kritik dan saran yang bersifat membangun akan selalu saya terima demi sempurnanya laporan ini.

Akhirnya penulis hanya bisa berharap semoga laporan ini bermanfaat bagi penulis dan para pembaca serta bagi semua pihak didalam mengembangkan wacana ilmu pengetahuan dan teknologi. Tidak lupa penulis juga berdo'a mudah-mudahan amal ibadah dan baik budi semua pihak yang telah membantu dan membimbing penulis dalam mengerjakan tugas ini senantiasa mendapat ridlo dari Allah SWT.

Surabaya, Agustus 2005

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang mendalam atas segala bentuk bantuan dan dorongan yang telah diberikan, penulis sampaikan dengan tulus kepada :

1. Bapak dan Ibu tercinta yang telah mencurahkan kasih sayang dan dorongan materiil maupun moril sehingga penulis bisa menyelesaikan kuliah di jurusan Teknik Sistem Perkapalan, FTK-ITS.
2. Bapak Ir Aguk Zuhdi, MF. MEng. dan Bapak Ir. M.Orianto, BSE. MSc. selaku Dosen Pembimbing dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. Surjo Widodo Adji, M.Sc, selaku Kepala Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS.
4. Bapak Ir. RO. Saut Gurning, MSc selaku ketua Laboratorium Mesin Kapal, yang telah memberikan ijin untuk menggunakan mesin diesel untuk pengujian. Dan Bapak Agus dan Mas Nur selaku Teknisi Laboratorium Mesin Kapal yang selalu menemani setiap pengambilan sample.
5. Temanku Faatikhul Muskhaf, ST. yang telah memberikan saran untuk meneruskan idenya serta Deni Sudarman, Ali "Aloth" Muhtar ST. dan Fauzi "ujret" Triono yang dengan rela hati menemaniku melakukan pengujian prototip.
6. Arif Sukarno yang telah banyak membantu dalam pembuatan prototip, pegawai BTKL Surabaya terutama Pak Sugianto yang telah membantu dalam pengambilan sample prototip.
7. Teman seperjuanganku Usman Wijanarko yang ikut merasakan susah dan senangnya mencari dan membuat prototip hingga akhir pengujian, angkatan 2000 yang ada di lab. Mesin Fluida dan Sistem, Aries "simbah" dwi laksono, Yues "Yueshida" agus setiawan, Wahyu "wakjoe" widiantoko, Bayu "badjoel" kusuma SPI, Rudi "Jayman" gustaman, Teguh "Solo/Rojomolo" heru hariyanto, teman di lab. Studio 3-D dan Komputasional, Dwi "tumtum" agung mulyan, Didiet "Ndut" Eka Baskoro, yang telah memberi semangat

kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan, serta semua teman – teman yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

8. Terkhusus buat temenku Afifah Afriani yang selalu ada disetiap detak nadiku, yang selalu memberikan do'a dan dorongan semangat serta tauziah saat aku lagi malas dalam mengerjakan Tugas akhir ini. Dan juga dewi puspa sari, yang selalu memberikan do'a dan dorongannya serta membuatku sering merasakan kebahagiaan dikala sedang suntuk dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
9. Semua pihak yang telah berpartisipasi banyak dalam membantu penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT KEPUTUSAN Pengerjaan Tugas Akhir	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
UCAPAN TERIMA KASIH	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GRAFIK	xv

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang.....	I-1
1.2 Perumusan Masalah	I-4
1.3 Tujuan Penulisan.....	I-5
1.4. Manfaat Tugas Ahir.....	I-5

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. E M I S I	II-1
2.1.1. Emisi Gas Buang Motor Diesel.....	II-1
2.1.2. Pembentukan Emisi Nox.....	II-4
2.1.3. Prosedur Perhitungan Emisi Mesin Diesel.....	II-7
2.1.4. Review Teknologi Pengontrolan Emisi Nox Motor Diesel..	II-9

2.2. KATALIS	II-10
2.2.1. Pengertian Katalis.....	II-10
2.2.2. Komponen Catalytic converter	II-10
2.2.3. Tipe - tipe Catalytic converter	II-14
2.2.4. Energi aktivasi dan Katalisis.....	II-15
2.2.5. Teori Katalisis.....	II-15
2.2.6. Mekanisme Katalisis.....	II-17
2.2.7. Catalysis on surface.....	II-18
2.3. PLASMA	II-20
2.3.1. Pengertian Plasma.....	II-20
2.3.2. Reaktor Plasma.....	II-22
2.3.3. Penerapan NTP untuk Mengatasi Emisi NOx.....	II-25
2.3.4. Formulasi perhitungan dalam Non-Thermal Plasma	II-26

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode.....	III-1
3.2. Persiapan.....	III-5
3.3. Peralatan Uji.....	III-5
3.4. Engine Set-Up.....	III-8
3.5. Pengujian.....	III-15

BAB IV. PEMBUATAN PROTOTIPE

4.1. Reaktor Non-Thermal Plasma.....	IV-1
4.1.1. Desain Reaktor.....	IV-1
4.1.2. Gambar desain Reaktor Non-Thermal Plasma (NTP)	IV-2
4.2. Konverter Katalis Tembaga (<i>Copper Catalytic Converter</i>).....	IV-3
4.2.1. Desain <i>Copper Catalytic Converter</i>	IV-3
4.2.2. Gambar desain <i>Catalytic Converter</i> Tembaga	IV-3

4.3. Konverter Katalis Besi (<i>Iron Catalytic Converter</i>).....	IV-4
4.3.1. Desain <i>Iron Catalytic Converter</i>	IV-4
4.3.2. Perhitungan kekuatan pengonversian Catalytic Converter...	IV-4
4.3.3. Gambar desain <i>Catalytic Converter</i> Besi	IV-7
4.4. Foto Prototipe.....	IV-9

BAB V. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

5.1. Data dan Pengolahan Hasil Pengujian.....	V-1
5.2. Pembahasan Pengujian Prototipe.....	IV-6
5.2.1. Pengaruh penggunaan prototipe NTP - Katalis terhadap Kenaikan Torsi Maksimum	IV-6
5.2.2. Pengaruh penggunaan prototipe NTP - Katalis terhadap Kenaikan Daya Maksimum	IV-7
5.2.3. Pengaruh penggunaan prototipe NTP - Katalis terhadap Perubahan SFOC	IV-8
5.2.4. Pengaruh penggunaan prototipe NTP - Katalis terhadap Kenaikan Efisiensi Effektiv	IV-10
5.2.5. Pengaruh penggunaan prototipe NTP - Katalis terhadap Tingkat Penurunan NOx	IV-11

BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan.....	VI-1
6.2. Saran.....	VI-2

DAFTAR PUSTAKA	xvi
----------------------	-----

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>Metalic Honeycomb Catalytic Converter</i>	II-11
Gambar 2.2. <i>Ceramic Honeycomb Catalytic Converter</i>	II-11
Gambar 2.3. <i>Konstruksi Monolith Catalytic Converter</i>	II-11
Gambar 2.4. <i>Ceramic Pellets Catalytic Converter</i>	II-12
Gambar 2.5. <i>Proses Reaksi pada Catalytic Converter Three-way</i>	II-13
Gambar 2.6. <i>Adsorpsi dari molekul reaktan</i>	II-14
Gambar 2.7. <i>Pembentukan Complex Active</i>	II-15
Gambar 2.8. <i>Decomposisi Complex Active</i>	II-15
Gambar 2.9. <i>Produk Desorpsi</i>	II-16
Gambar 2.10. <i>Diagram perhitungan reaksi isothermal/non – isothermal</i> <i>dari suatu katalis</i>	II-18
Gambar 2.11. <i>Proses Pembentukan Atom dari Molekul</i>	II-20
Gambar 2.12. <i>Struktur dan proses pembentukan Plasma</i>	II-21
Gambar 2.13. <i>Kondisi molekuler gas dan Plasma</i>	II-21
Gambar 2.14. <i>Konstruksi Dielectric Barrier Discharge</i>	II-23
Gambar 3.1. <i>Flowchart pengerjaan Tugas Akhir</i>	III-2
Gambar 4.1. <i>Desain Reaktor NTP</i>	IV-2
Gambar 4.2. <i>Desain Katalis Tembaga</i>	IV-3
Gambar 4.3. <i>Desain Katalis Besi</i>	IV-7
Gambar 4.4. <i>Desain Prototipe Reaktor NTP-Katalis Besi</i>	IV-8
Gambar 4.5. <i>Foto Prototipe Reaktor NTP lengkap dengan Trafo</i>	IV-9
Gambar 4.6. <i>Foto Prototipe Katalis tampak atas</i>	IV-10
Gambar 4.7. <i>Foto Prototipe Katalis tampak samping</i>	IV-10
Gambar 4.8 <i>Foto Prototipe NTP-Katalis Besi Lengkap</i>	IV-11

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1.	Standar emisi NOx aturan Marpol Annex VI.....	I-2
Tabel 1.2.	Standar emisi motor diesel aturan EPA.....	I-3
Tabel 3.1.	Spesifikasi Motor Diesel Uji.....	III-6
Tabel 3.2.	Spesifikasi Generator.....	III-7
Tabel 3.3.	Rumus – rumus perhitungan performa engine	III-10
Tabel 3.4.	Data performance diesel hasil kalibrasi.....	III-11
Tabel 3.5.	Data perhitungan kalibrasi Engine.....	III-13
Tabel 3.6.	Beban – beban yang digunakan dalam kalibrasi prototipe.....	III-14
Tabel 5.1.	Hasil Pengambilan Data Pengujian Standard.....	V-1
Tabel 5.2.	Hasil Pengambilan Data Pengujian NTP – Katalis Tembaga (NTPKT)	V-2
Tabel 5.3.	Hasil Pengambilan Data Pengujian NTP – Katalis Besi (NTPKB)	V-2
Tabel 5.4.	Hasil Pengolahan Data dan Pengamatan Grafik.....	V-5
Tabel 5.5.	Prosentase Hasil Pengolahan Data dan Pengamatan Grafik.....	V-5
Tabel 5.6.	MARPOL ANNEX VI NOx Emission Limits	V-14



DAFTAR GRAFIK

Grafik 1.1.	Grafik standard emisi NO _x motor disel aturan Marpol annex VI	I-2
Grafik 2.1.	Level emisi NO _x v.s. Air-Fuel ratio.....	II-2
Grafik 2.2.	Konsentrasi NO _x v.s. Temperatur pembakaran.....	II-5
Grafik 3.1.	Grafik trendline performance diesel pada putaran 2300 rpm...	III-11
Grafik 3.2.	Grafik trendline performance diesel pada putaran 1900 rpm...	III-12
Grafik 3.3.	Grafik performance kaliberasi engine.....	III-14
Grafik 5.1.	SFOC vs Daya pada Variasi Perlakuan Pengujian 1900 rpm...	V-3
Grafik 5.2.	SFOC vs Daya pada Variasi Perlakuan Pengujian 2300 rpm...	V-3
Grafik 5.3.	Efisiensi Effektiv vs Daya pada Variasi Perlakuan Pengujian 1900 rpm.....	V-4
Grafik 5.4.	Efisiensi Effektiv vs Daya pada Variasi Perlakuan Pengujian 2300 rpm.....	V-4
Grafik 5.5.	Perlakuan Standard, NTPKT, NTPKB terhadap Torsi Maksimum pada 1900 RPM	V-7
Grafik 5.6.	Perlakuan Standard, NTPKT, NTPKB terhadap Daya Maksimum pada 2300 RPM	V-8
Grafik 5.7.	Perlakuan Standard, NTPKT, NTPKB terhadap SFOC.....	V-9
Grafik 5.8.	Perlakuan Standard, NTPKT, NTPKB terhadap Efisiensi Effektiv	V-11
Grafik 5.9.	Efek Test Cycle terhadap Nilai Weighted Brake Specific Emission pada Variasi perlakuan pengujian 1900 RPM	V-12
Grafik 5.10.	Efek Test Cycle terhadap Nilai Weighted Brake Specific Emission pada Variasi perlakuan pengujian 2300 RPM	V-12
Grafik 5.11.	Prosentase perubahan Tingkat Emisi NO _x dengan Acuan Kondisi Standard	V-13
Grafik 5.12.	Nilai NO _x berdasarkan Standard regulasi IMO terhadap Perlakuan pengujian Torsi Maksimum dan Daya Maksimum...	V-15

Ibnul Muqaffa' berkata kepada anaknya, 'Belajarliah menyimak pembicaraan orang dengan baik, sebagaimana engkau belajar berbicara dengan baik.

Diantara menyimak pembicaraan orang dengan baik adalah membiarkannya berbicara sampai selesai, berilah sedikit komentar, tidak memalingkan muka, memandang kepada orang yang berbicara dan menyadari apa yang diucapkannya."

Orang-orang yang paling berbahagiapun tidak selalu memiliki hal-hal terbaik,



PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang.

Kenyataan bahwa penggunaan motor diesel sebagai tenaga penggerak utama untuk sumber tenaga propulsi di kapal dianggap paling efektif, sehingga sampai sekarang motor diesel masih mendapat porsi utama dalam setiap kajian dalam desain propulsor pada desain kapal di beberapa perusahaan pelayaran. Motor diesel menyediakan berbagai keuntungan seperti kehandalan, keamanan, kemudahan operasional dan perawatan. Keuntungan-keuntungan inilah yang menjadi alasan mengapa ia menjadi primadona tenaga penggerak di kapal. Walau bagaimanapun motor diesel tetap memberikan peran sebagai sumber pencemar lingkungan melalui emisi gas buangnya yang mengandung *unburned hydrocarbon*, *carbon monoksida* dan *oksida nitrogen* (NOx).

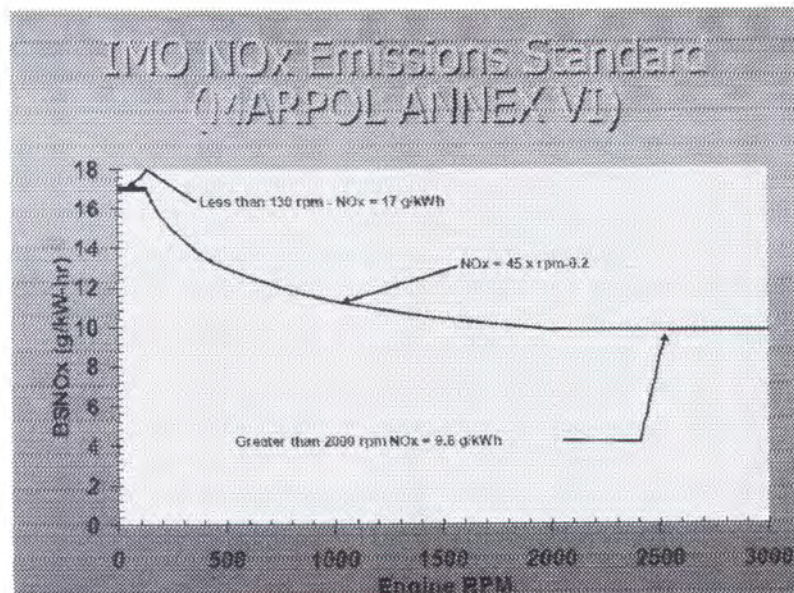
Isu mengenai lingkungan menjadi semakin penting untuk dibicarakan dan ditindaklanjuti didalam perancangan dan sistem operasional motor diesel. Hal ini dikarenakan semakin ketatnya peraturan internasional maupun regional mengenai standar lingkungan dalam menentukan batas-batas yang bisa diterima dari tingkat polusi gas buang motor diesel. Emisi gas buang motor diesel memberikan sumbangan yang sangat besar terhadap peningkatan pencemaran udara, sehingga perlu adanya usaha untuk mengontrol emisi yang dihasilkan motor diesel.

Berbagai peraturan yang berkaitan dengan polusi pada kapal terkandung dalam "*International Convention on the Prevention of Pollution from Ships*", yang dikenal dengan MARPOL 73/78. Pada tanggal 27 September 1997, MARPOL convention telah digantikan dengan "*1997 Protocol*", yang didalamnya termasuk Annex VI yang berjudul "*Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships*". MARPOL Annex VI memberikan

batasan pada emisi NOx dan sulfur oksida dari gas buang kapal, dan membatasi pula penggunaan ozone untuk menghilangkan substansi emisi. Pemberlakuan “1997 Protocol” dari MARPOL sejak tanggal 19 Mei 2005 yang juga meliputi Annex VI sebagaimana tabel 1.1 dan Grafik 1.1.

Table 1.1. MARPOL Annex VI NOx Emission Limits

Engine Speed (n, rpm)	NOx, g/kWh
$n < 130 \text{ rpm}$	17.0
$130 \text{ rpm} \leq n < 2000 \text{ rpm}$	$45 \cdot n^{-0.2}$
$n \geq 2000 \text{ rpm}$	9.8



Grafik 1.1. Grafik standar emisi NOx motor diesel aturan Marpol annex VI
Available : [<http://www.imo.org>] (dikunjungi Oktober 2004).

Pada bulan Juni 2000, U.S. Environmental Protection Agency (EPA) mengajukan proposal aturan yang berkaitan dengan *on-road heavy-duty engine and vehicle* dan standar kualitas bahan bakar yang dinamai “*phase-2 standards*” yang akan diberlakukan mulai tahun 2007. Pada *phase-2 standard*,

standar emisi NO_x dibatasi 0.2 g/bhp-hr seperti terlihat pada table 1.2. (McKinon)

Tabel 1.2. Standar emisi motor diesel aturan EPA

Proposed Standards for HDEs	
PM	0.01 g/bhp-hr
NO _x	0.20 g/bhp-hr
NMHC	0.14 g/bhp-hr

Dari kedua aturan yang dikeluarkan oleh dua badan tersebut maka sangatlah penting ditemukan teknologi alternative dan modifikasi terhadap teknologi yang sudah ada untuk mencapai standar emisi yang ditetapkan.

Berbagai macam teknologi terus dikembangkan untuk meminimalkan emisi yang dihasilkan gas buang dari motor diesel. Salah satu teknologi yang telah dikembangkan adalah pemakaian katalis untuk mengurangi emisi gas buang pada motor diesel. Penggunaan *catalytic converter* yang dipasang pada saluran gas buang merupakan salah satu teknik yang digolongkan pada kelompok *after treatment*, dimana emisi gas buang HC, CO yang dihasilkan akan dioksidasi dan emisi NO_x akan direduksi dengan adanya aktif metal katalis. Aktif metal katalis yang biasa digunakan adalah platinum, plutonium, rhodium, palladium yang merupakan kelompok logam mulia yang mempunyai keaktifan yang tinggi sebagai katalis tetapi dengan harga yang cukup mahal. sedangkan aktif metal lainya seperti tembaga, vanadium, iron, cobalt, nikel, mangan, cromium, masih belum banyak dijadikan bahan percobaan. Oleh karena itulah perlu adanya pengembangan teknologi *catalytic converter* yang menggunakan aktif metal katalis yang lebih murah agar penerapanya lebih meluas dengan harga yang terjangkau.

Salah satu usaha yang sekarang sedang dikembangkan untuk meningkatkan efektifitas katalis untuk meminimalkan emisi gas buang adalah dengan penggunaan *non-thermal plasma* yang dikombinasikan dengan katalis. Diharapkan dengan teknik ini akan didapatkan katalis dengan material yang lebih murah tetapi dengan keaktifan yang lebih tinggi dalam proses katalisis.

Sebagaimana yang pernah dilakukan, prototipe *NTP – Katalis tembaga* yang telah dibuat belum bisa menghasilkan performa yang memuaskan karena tidak efektifnya tembaga sebagai katalis dalam mereduksi NOx (Muskhaf, 2005), maka pada tugas akhir ini akan dilakukan penggantian katalis dengan katalis besi, yang diharapkan dapat memperbaiki performa dari prototipe terdahulu dalam mereduksi NOx. Emisi NOx merupakan fokus dari penelitian yang dilakukan oleh penulis, dikarenakan emisi yang lebih dominan dihasilkan oleh motor diesel adalah emisi NOx jika dibandingkan dengan emisi HC dan CO. Katalis besi diambil karena dari penelusuran penelitian sebelumnya belum ada yang mencoba selain itu juga karena harganya yang murah dan mudah didapat.

1.2. Perumusan Masalah.

1.2.1. Permasalahan.

Prototype Kombinasi NTP – Katalis Tembaga telah berhasil menurunkan emisi gas buang terutama NOx. Namun terdapat kelemahan, dimana *Tembaga sebagai katalis, kurang efektif digunakan untuk mereduksi emisi NOx pada motor diesel*. Oleh karena itu penggantian material katalis perlu dilakukan agar katalis tembaga dapat efektif digunakan untuk mereduksi NOx pada motor diesel dan salah satu katalis yang juga masih dalam deret periodic unsur yang sama dengan tembaga adalah besi, oleh karena itu katalis yang akan digunakan adalah besi.

Berdasarkan latar belakang tersebut dapat dirumuskan beberapa pokok permasalahan diantaranya :

1. Apakah Besi bisa digunakan sebagai katalis dalam mereduksi emisi NOx ?
2. Apakah besi sebagai katalis pengganti memiliki kemampuan mereduksi NOx lebih baik dibanding katalis tembaga ?
3. Seberapa besar efektivitas katalis besi dalam mereduksi emisi NOx motor diesel jika dibandingkan dengan penggunaan katalis tembaga?.

1.2.2. Batasan Masalah.

Batasan masalah digunakan sebagai arahan serta acuan dalam penulisan tugas akhir sehingga sesuai dengan permasalahan serta tujuan yang diharapkan.

Adapun batasan permasalahan pada penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Tidak membahas reaksi kimia yang terjadi pada modifikasi prototype secara mendetail.
2. Katalis yang digunakan adalah besi
3. Tidak memperhitungkan segi ekonomi

1.3. Tujuan Penulisan Tugas Akhir.

Tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah :

1. Membuktikan logam besi bisa digunakan sebagai katalis untuk mereduksi NOx.
2. Membuktikan efektifitas kombinasi NTP – Katalis Besi dalam mereduksi emisi NOx dapat ditingkatkan jika dibandingkan dengan kombinasi NTP – katalis tembaga.
3. Membandingkan besar prosentase pereduksian yang terjadi pada besi dan tembaga

1.4. Manfaat Tugas Akhir.

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah harapan bahwa tugas akhir ini akan :

- a. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi plasma - katalis guna meminimalkan emisi NOx motor diesel.
- b. Pengenalan dan pengembangan terhadap teknologi yang relatif masih baru untuk meminimalkan emisi NOx motor diesel dengan tinjauan yang berbeda sebagai upaya pencarian kombinasi NTP – Katalis yang paling sesuai dengan kondisi motor diesel.

mereka hanya berusaha menjadikan yang terbaik dari setiap hal yang hadir dalam hidupnya.
Bermimpilah tentang apa yang ingin kamu impikan,
Pergilah ke tempat-tempat kamu ingin pergi.
Jadilah seperti yang kamu inginkan, karena kamu hanya memiliki satu kehidupan dan
satu kesempatan untuk melakukan hal-hal yang ingin kamu lakukan.



TINJAUAN PUSTAKA

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada tinjauan pustaka ini akan dikemukakan secara terperinci dan runtut teori yang berkaitan dengan judul tugas akhir ini. Penekanan tinjauan pustaka ini dititik beratkan pada 3 subbab yaitu subbab EMISI (2.1), subbab KATALIS (2.2), dan subbab NON – THERMAL PLASMA (2.3).

2.1. E M I S I

2.1.1. Emisi Gas Buang Mesin Diesel.

Sebagaimana disampaikan dalam *ESI International (1999)*, disebutkan bahwa reaksi pembakaran yang tidak sempurna yang menghasilkan produk pembakaran yang tidak diinginkan seperti karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon. Pembakaran pada dasarnya merupakan suatu proses oksidasi dari materi yang dapat terbakar yang menghasilkan panas dan menyisakan gas buang. Pembakaran dikatakan sempurna jika semua materi yang dapat terbakar yang terkandung di dalam bahan bakar teroksidasi sempurna.

Pembakaran sempurna antara karbon dan hydrogen di udara akan menghasilkan karbon dioksida (CO₂) dan uap air (H₂O).



Jika ada unsur sulfur dalam bahan bakar maka akan menghasilkan oksida sulfur dimana reaksi pembentukannya sbb. :

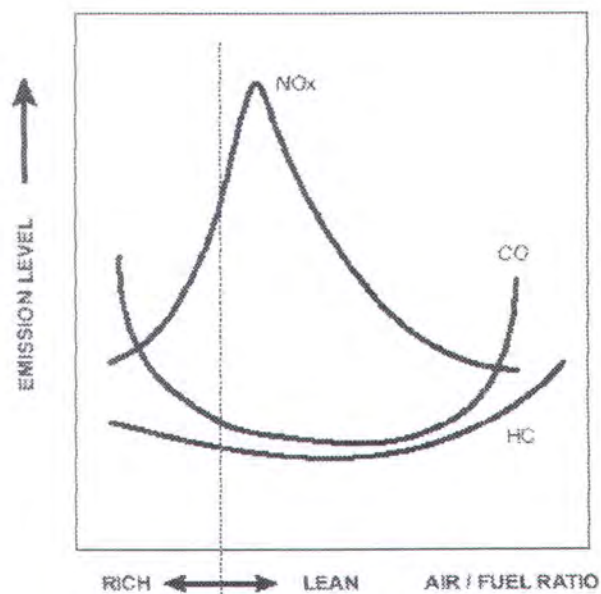


Emisi gas buang yang dihasilkan oleh motor diesel meliputi *hydrocarbon* (HC), *carbon monoksida* (CO), *nitrous oxides* (NO_x), dan material partikel. Campuran beracun seperti *polyaromatic hydrocarbons* (PAH), juga ditemukan pada gas buang mesin diesel.

Hal tersebut juga dikuatkan oleh *Yunan Lubis (2003)*. Dalam tugas akhirnya dia mengetahui bahwa dibandingkan dengan motor bensin, gas buang mesin diesel tidak banyak mengandung CO dan HC, disamping itu konsentrasi NO_2 sangat rendah jika dibandingkan NO. Jadi bisa dikatakan komponen utama gas buang motor diesel yang membahayakan adalah NO dan asap hitam.

Sebagaimana teori pembakaran sederhana, oksidasi sempurna dari bahan bakar hidrokarbon akan menghasilkan pembentukan karbon dioksida dan air. CO_2 sementara ini masih belum dianggap sebagai polutan, kecuali jika terjadi penambahan konsentrasi karbon dioksida di atmosfer yang akan menimbulkan efek rumah kaca (*Thevenin, 2002*). Masalah utama yang berkaitan dengan emisi yang berasal dari gas buang motor bakar dalam, oleh beberapa ahli masih difokuskan pada karbon monoksida (CO), hydrocarbon (HC), dan nitrogen oksida (NO_x). CO adalah polutan yang beracun pada konsentrasi yang signifikan, hidrokarbon merupakan polutan yang potensial berpengaruh pada terjadinya efek rumah kaca, sedang NO_x memberikan dampak yang membahayakan terhadap makhluk hidup dan lingkungan (*Thevenin, 2002*).

Level emisi yang dihasilkan oleh motor bakar dalam dapat digambarkan dalam grafik berikut yang merupakan fungsi dari *air fuel ratio* (A/F ratio) (*Thevenin, 2002*) :



Grafik 2.1. Level emisi v.s. A/F ratio.

Strategi desain motor diesel untuk meminimalkan pembentukan materi partikel dalam silinder akan menaikkan emisi Nox (*ESI, 1999*), karena strategi tersebut akan menjadikan pembakaran semakin sempurna dan konsekuensinya mengakibatkan temperature di dalam silinder semakin tinggi. Pembentukan NOx hanya tergantung pada dua faktor yaitu tersedianya oksigen dan temperatur (*ESI, 1999*). Hal ini merupakan sebuah dilema dalam mendesain sebuah motor diesel untuk mendapatkan level emisi materi patikel dan emisi NOx yang rendah.

Carbon monoxide (CO).

Karbon monoksida hanya dihasilkan dari gas buang motor. Ia dihasilkan dari proses pembakaran yang tidak sempurna yang disebabkan jumlah udara yang tidak mencukupi dalam campuran *air-fuel* atau waktu yang tidak cukup panjang dalam siklus untuk terjadinya pembakaran yang sempurna (*Mathur, 1980*).

Karbon monoksida dapat mengurangi kadar oksigen dalam darah (*chronix anoxia*), mengganggu hati dan otak, melemahkan presepsi, *asphixiaton* (*Mirmanto dkk, 1999*).

Hydro Carbon (HC).

Variable desain dan variabel operasi menjadi dua penentu dari emisi hidrokarbon (*Mathur, 1980*). Dua variable yang penting dalam desain adalah desain system induksi dan desain ruang pembakaran (*combustion chamber*), sedangkan variable operasi utama meliputi rasio udara-bahan bakar (*air-fuel ratio*), kecepatan, beban dan mode operasi.

Hidrokarbon dapat menyebabkan iritasi pada mata, batuk, rasa mengantuk, bercak kulit, perubahan kode genetic (*Mirmanto dkk, 1999*).

Nitrogen Oksida (NOx).

Nitrogen oksida (NOx) yang dihasilkan pada gas buang motor adalah kombinasi dari nitrogen monoksida (NO) dan karbon dioksida (CO₂). Dua alasan penting yang menyebabkan timbulnya emisi NOx adalah ketersediaan oksigen dan temperatur yang tinggi. Hal ini dikarenakan nitrogen dan oksigen bereaksi pada temperature yang tinggi (*Mathur, 1980*). Dengan keberadaan oksigen dan semakin tingginya temperatur pembakaran maka semakin banyak NOx terbentuk.

Sebagaimana dikatakan *Mirmanto (1999)* dalam hasil penelitiannya, NO₂ dapat menyebabkan iritasi mata dan nasal, sakit saluran napas, berbahaya pada paru-paru, menurunkan fungsi pulmonary dan menyebabkan hati kanan tertekan setelah konsentrasinya (menurut WHO) 40 g/m³ (432%)/1 jam. NO dapat melemahkan system pertahanan tubuh, *bronchitis, pneumonia*, dll.

Particulate Matter .

Campuran organik dan anorganik dari molekul yang lebih berat dikeluarkan dengan ukuran yang sangat kecil (0.02 – 0.06 mikron). Kurang lebih 70% sisa pembakaran dikeluarkan dalam bentuk ini ke atmosfer dan sebagian menjadi kerak pada bagian mesin.

2.1.2. Pembentukan Emisi NO_x.

Untuk mengerti dan mengapresiasi perbedaan teknologi untuk mereduksi emisi NO_x, mekanisme pembentukan NO_x harus dimengerti terlebih dahulu. Nitrogen oksida dari sumber pembakaran secara kolektif diistilahkan sebagai NO_x, terdiri dari 95% NO dan 5% NO₂. Oksida-oksida ini terbentuk dari dua macam sumber, pertama berasal dari oksidasi nitrogen dalam udara selama pembakaran dan yang kedua oksidasi kandungan nitrogen pada bahan bakar (*Thevenin, 2002*).

Menurut *Thevenin (2002)* pembentukan NO_x dapat terjadi dengan empat macam mekanisme, yaitu :

1. Mekanisme Zeldovich untuk Pembentukan Thermal NO_x.

Thermal NO_x terbentuk oleh rantai radikal seperti berikut dan diistilahkan juga sebagai mekanisme Zeldovich.

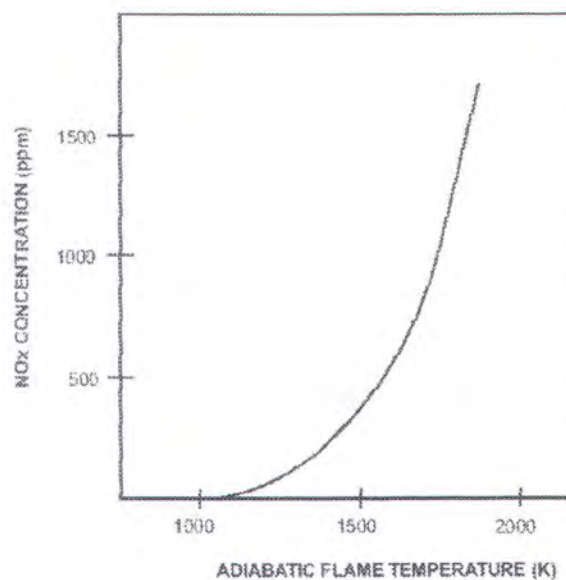


M dapat berupa molekul, seperti radikal atau permukaan yang dapat berfungsi sebagai agen perpindahan energi (*transfer energy agen*). Kombinasi dari terjadinya reaksi-reaksi tersebut diatas diistilahkan sebagai pengembangan mekanisme Zeldovich (*extended Zeldovich mechanism*). Konsentrasi NO_x

bertambah secara eksponensial terhadap temperatur, tidak bergantung kepada konsentrasi O.

Pada diagram berikut dapat dilihat bahwa pada temperature pembakaran sebesar 1800 K atau lebih besar, konsentrasi NOx ekuilibrium melebihi 1500 ppm. Jumlah NO yang besar mungkin terbentuk juga pada temperature 1500 K, bagaimanapun juga pada temperatur ini, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai ekuilibrium $N + O \rightleftharpoons NO$ cukup panjang.

Usaha untuk mereduksi emisi NOx jenis ini dapat dilakukan dengan menurunkan adiabatic flame temperature sampai 300 atau 400 K, dimana pada kondisi ini konsentrasi NOx sangat rendah sehingga mungkin dapat diabaikan dengan tanpa adanya treatment tambahan untuk mengeliminasinya.



Grafik 2.2. Konsentrasi NOx v.s. Temperature Pembakaran.

2. Mekanisme Prompt NOx.

Mekanisme kedua pembentukan NOx pada proses pembakaran adalah melalui mekanisme prompt NOx. *HydroCarbon* radikal dapat bereaksi dengan molekul nitrogen untuk membentuk hydrogen sianida dan atom nitrogen.



Atom nitrogen ini bereaksi dengan kelompok hidroksyl atau radikal-radikal dalam pembakaran untuk membentuk NO dan atom hydrogen.



Mekanisme ini menjadi semakin menguat ketika kondisi operasi pada keadaan bahan bakar yang tinggi (*rich mixture*). Kualitas bahan bakar yang diinjeksikan akan berperan penting terhadap pembentukan prompt NOx. Tidak seperti *thermal NOx*, temperatur ambang untuk pembentukan prompt NOx dibawah 1600 K. Satu-satunya solusi untuk meminimalkan pembentukan prompt NOx adalah dengan menghindari terjadinya sisa hidrocarbon radikal, hal ini berarti bahwa pembakaran harus terjadi secara sempurna. Untuk mencapai hal ini dapat digunakan *catalytic combustion*.

3. Mekanisme Nitrous Oxide.

Reaksi fase gas yang menyebabkan pembentukan N₂O pada bahan bakar fosil adalah sbb :



Pada pembakaran gas alam, penambahan utama dikontribusikan oleh interaksi antara molekul nitrogen dan oksigen yang ada pada campuran bahan bakar *lean* pada temperatur rendah.



langkah utama untuk membuang N₂O adalah melalui reaksi-reaksi berikut :



Untuk temperatur diatas 1500 K, lifetime N₂O lebih kecil dari 10 ms. Oleh karena itulah, kecuali untuk temperatur pembakaran yang rendah, pembentukan nitrous oxide tidak begitu signifikan.

Mekanisme fuel NOx.

Nitrogen yang terkandung dalam bahan bakar pertama-tama dikonversikan menjadi hydrogen sianida, kemudian bereaksi dengan spesies NHx misalnya ammonia yang pada akhirnya akan terbentuk NO dan N₂. Proses ini

hanya bergantung pada kandungan N yang terkandung dalam campuran bahan bakar



Salah satu penyelesaian untuk menghindari terbentuknya NO_x adalah melalui *hydro-denitrogenation* pada bahan bakar. Alternatif penyelesaian yang kedua adalah dengan penggunaan bahan bakar yang kandungan nitrogennya rendah.

Untuk bahan bakar yang tidak mempunyai kandungan sulfur, maka hanya tiga mekanisme pertama yang terjadi.

2.1.3. Prosedur Perhitungan Emisi Mesin Diesel

Prosedur perhitungan menurut ISO 8178 meliputi dua hal yaitu putaran percobaan (*test cycles*) dan stage variasi proses actual perhitungan emisi yang digunakan untuk merubah konsentrasi pengukuran kedalam nilai pengereman spesifiknya (*brake specific value*, gram/kWh) pada tiap jenis emisi. Prosedur perhitungan yang terangkum dalam ISO 8178 tersebut meliputi :

1. *Exhaust gas mass flow rate*
2. *Dry-gas to wet gas basis conversion factors*
3. *Ambient condition correction factors for NO_x*
4. *Emissions rates*
5. *Weighted specific emissions value*
6. *Test condition parameter*

Sebelum dilakukan perhitungan sebagaimana procedure ISO 8178 tersebut ditentukan putaran percobaan (*diesel engine test cycles*) yang akan digunakan dalam pengujian dan pengambilan parameter perhitungan. Bab 4 dari ISO 8178 menunjukkan detail dari variasi putaran percobaan dari range beberapa aplikasi pembebanan. Untuk marine diesel engine menggunakan percobaan tiga putaran (*three test cycles*) dengan prinsip utamanya adalah sebagaimana Tabel 2.1

Table 2.1 Putaran percobaan pembebanan marine diesel engine

Cycle	Duty				
D2	Intermittently loaded generator engine				
E2	Constant speed propulsion engine				
E3	Propeller speed curve propulsion engines				
test cycle	load sequence				
	engine load points & per cent full load				
	WF 100%	WF 75%	WF 50%	WF 25%	WF 10%
D2	0.05	0.25	0.30	0.30	0.10
E2	0.20	0.50	0.15	0.15	-
E3	0.20	0.50	0.15	0.15	-
E3 speed %	100	91	80	63	-

Brake specific NOx (BS NOx)

Jika kadar NOx dalam satuan ppm dikonversi dalam satuan gr/kWh , maka cara pehitungannya sesuai rumusan dari SAE Handbook (SAE J1003) adalah sebagai berikut :

$$\text{BS NOx} \left(\frac{\text{gr}}{\text{kWh}} \right) = \frac{\text{NOx mass} \left(\frac{\text{gr}}{\text{kWh}} \right)}{P(\text{kW})} \quad (16)$$

$$\text{NOx mass} \left(\frac{\text{gr}}{\text{kWh}} \right) = 0.092 \times \text{NOx con. (ppm)} \times \text{exh. mass} \left(\frac{\text{kg}}{\text{min}} \right)$$

$$\text{Exh. mass} = \text{air mass} + \text{fuel mass} \left(\frac{\text{kg}}{\text{min}} \right)$$

$$\text{Air mass} = \frac{\text{Ev} \cdot \text{N} \cdot \text{Vd} \cdot \rho_{\text{udara}}}{Z} \left(\frac{\text{kg}}{\text{min}} \right)$$

keterangan :

Mass exh. : Laju aliran massa gas buang $\left(\frac{\text{kg}}{\text{min}} \right)$.

Air mass : Laju aliran massa udara $\left(\frac{\text{kg}}{\text{min}} \right)$.

Fuel mass : Laju aliran massa bahan bakar.

Ev : Efisiensi volumetrik, asumsi 100%=1.



Vd	: Volume displacement total (m ³).
ρ_{udara}	: 1.1614 kg/m ³ .
N	: putaran motor (RPM)
Z	: 2 untuk motor 4 tak, 1 untuk motor 2 tak.

2.1.4. Review Teknologi Pengontrolan Emisi NOx motor diesel.

Teknologi untuk mengurangi emisi NOx gas buang motor diesel, sebagaimana dikelompokkan oleh *Melanie (2004)*, dibagi dalam 3 kelompok utama, yaitu :

1. *Fuel modifications.*

Yang termasuk dalam teknologi ini contohnya *Sinthetic Diesel* (DDC Engine, Caterpillar), *Water diesel Emulsions* (Caterpillar, City of Houston, Sacramento County Landfill), *Dimethyl Ether* (Navistar Truck Engine, Penn State Shuttle Bus), *Natural Gas* (Cummins/Westport), Diesel/Electric Hybrid (Oshkose Propulse, New York Metropolitan Transit Authority).

2. *Engine design modifications.*

Yang termasuk dalam katagori ini misalnya *water injection* (California State University Lab Tests), *Injection Timing Retard* (Tullis, On-road test Under EPA Urban Bus Retrofit Program), EGR (Caterpillar), *Changing Engine Cycle* (Rotec Freedom Air).

3. *After-treatment technologies*

Yang termasuk dalam teknologi aftertreatment contohnya adalah *Lean NOx catalyst* (Caterpillar 3116 engine, Ceryx Quadcat), SCR (Johnson Mathey, Siemes Automotive, Clean Diesel Technologies/RJM), *NOx Adsorbers* (US Department Energy, Engine Manufacturers Association), *Non-thermal Plasma* (Delphi Automotive System, Caterpillar)

Kombinasi *Non-thermal Plasma – Copper Catalyst* yang pertama kali dibuat dan diuji coba oleh *Muskhaf (2005)* merupakan teknologi *after-treatment* dengan menggunakan struktur *parallel passage* yang berupa pipa-pipa yang dipasang secara sejajar pada sebuah muffler berbentuk silinder.

2.2 KATALIS

2.2.1 Pengertian Katalis

Katalis adalah suatu zat yang dapat mempercepat laju suatu reaksi kimia tanpa adanya perubahan sifat secara signifikan dari katalis. Secara umum katalis hanya mengubah laju suatu reaksi tetapi tidak mempengaruhi kesetimbangan reaksi. Ada dua tipe reaksi katalis, yaitu :

Katalis Homogen (katalis pada fase yang sama).

Katalis mengacu pada proses dengan sedikitnya satu reaktan dalam larutan yang bersifat sebagai katalis. Sebagai contoh kehomogenan katalis adalah proses industri oxo untuk membuat iso butyl aldehyd normal. Reaktan terdiri dari propylene, karbon monoxide, dan hydrogen sedangkan kobalt kompleks fase cair sebagai katalisnya.

Katalis Heterogen (katalis pada fase berbeda, biasanya gas pada solid).

Katalis ini terdiri lebih dari satu fase, umumnya fase katalisnya adalah padat sedangkan reaktan dan produk adalah fase cair dan gas.

Karakteristik dan sifat-sifat dari katalis adalah sbb. :

1. Tidak terjadi perubahan dalam masa dan komposisi kimia secara signifikan pada akhir dari suatu reaksi.
2. Secara umum, dibutuhkan sejumlah kecil katalis untuk menghasilkan reaksi yang hampir tidak terbatas.
3. Katalis bekerja atau bereaksi secara spesifik.
4. Pada umumnya katalis tidak dapat memulai suatu reaksi.
5. Katalis tidak mempengaruhi posisi akhir dari kesetimbangan, akan tetapi memperpendek waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kesetimbangan.
6. Perubahan temperature dapat mengubah laju dari reaksi katalitik.

2.2.2 Komponen *Catalytic Converter*.

Catalytic converter terdiri atas substrat yang memberikan kekuatan pada struktur dan kestabilan, *washcoat* yang menyediakan lapisan permukaan yang

luas, dan *active phase* yang memungkinkan terjadinya reaksi heterogen. Proses katalisis terjadi pada permukaan katalis, oleh karena itulah permukaan katalis dibuat seluas-luasnya untuk menyediakan tempat berlangsungnya reaksi.

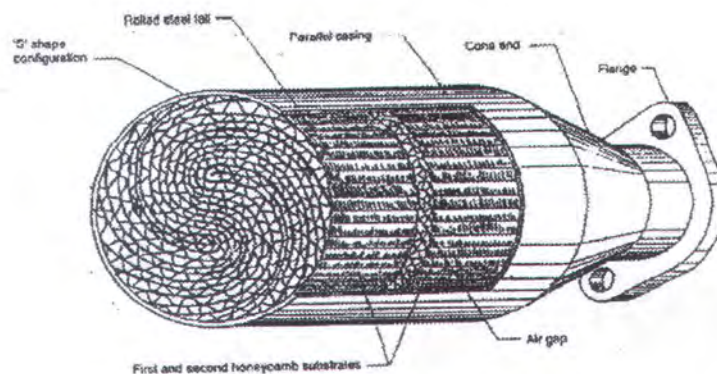
❖ Substrat.

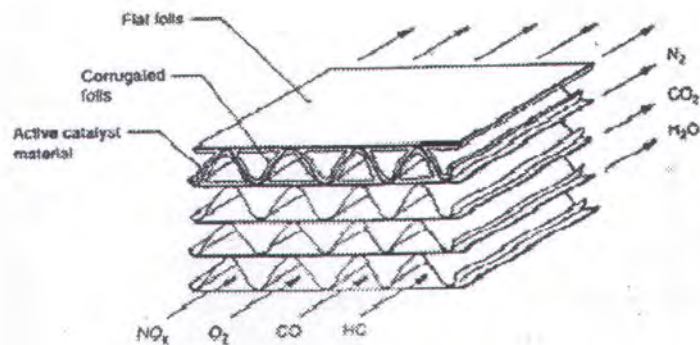
Pada dasarnya, material substrat dapat berupa *metallic* atau *ceramic*. Monolith keramik mempunyai kelemahan yaitu rentanya terjadi keretakan pada temperature yang tinggi ataupun kejutan termal serta konduktivitas panas yang jelek. Monolith metal mempunyai kekuatan struktur yang lebih baik daripada keramik pada temperature yang tinggi dan mempunyai konduktivitas termal yang tinggi sehingga terjadinya *hot spot* dapat dihindari dan mempunyai temperature yang lebih merata (*Mirmanto, 1999*).

Berdasarkan konstruksinya *catalytic converter* dapat dibedakan menjadi beberapa macam sbb. :

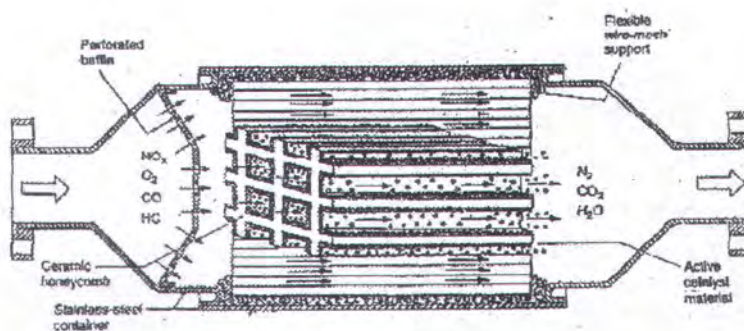
Monolith honeycomb.

Catalytic jenis ini mempunyai bentuk seperti sarang tawon dimana ribuan saluran sejajar dipasang secara rapi dan merupakan tempat mengalirnya gas buang. *Catalytic* jenis metalic honeycomb mempunyai substrat yang terbuat dari logam yang dilapisi dengan washcoat. *Catalytic* jenis ini mempunyai kekuatan lebih baik dibandingkan dengan *ceramic honeycomb* tetapi harganya lebih mahal.



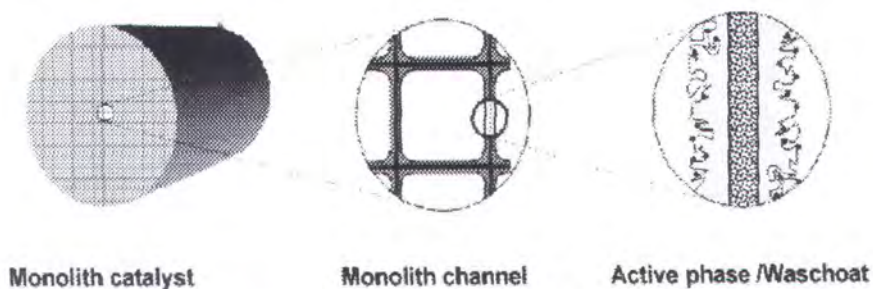


Gambar 2.1. *Metalic Honeycomb Catalytic Converter.*



Gambar 2.2. *Ceramic Honeycomb Catalytic Converter.*

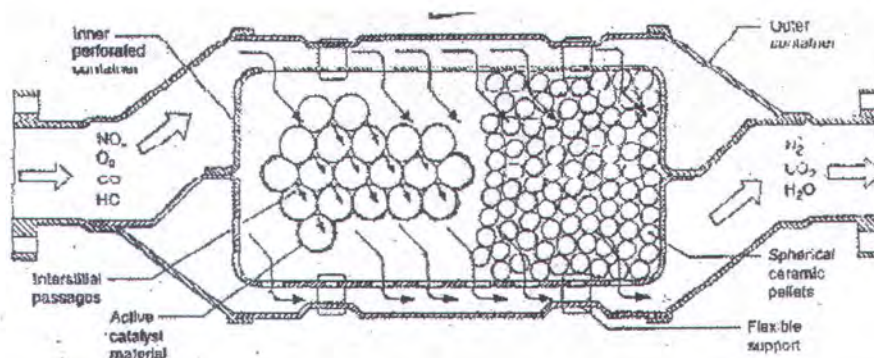
Untuk aliran gas yang tinggi maka *catalyst bed* tipe monolith honeycomb merupakan desain yang cocok karena mempunyai drop tekanan yang rendah (*Thevenin, 2002*), konstruksi detailnya seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2.3. *Konstruksi Monolith Catalytic Converter.*

Ceramics Pellets.

Catalytic converter jenis ini tersusun atas lapisan keramik seperti *magnesium-aluminium silicate*. Lapisan keramik ini (alumina) mempunyai ketahanan terhadap abrasi dan tempertur yang tinggi (*Mirmanto, 1999*).



Gambar 2.4. *Ceramic Pellets Catalytic Converter.*

❖ *Washcoat.*

Substrat monolith biasanya mempunyai permukaan yang terbatas sehingga kurang cocok untuk dilapisi dengan lapisan aktif metal. Untuk menambah luas permukaan substrat maka substrat dilapisi dengan menggunakan *washcoat*. *Washcoat* disamping memiliki permukaan yang luas, juga mempunyai dispersi logam mulia atau partikel metal oxide, biasanya digunakan alumina sebagai material washcoat. Secara umum, aktifitas oksidasi yang tinggi membutuhkan ion logam dengan valensi yang bervariasi dan reaksi redox. Campuran oksida binary dan ternary masih memiliki keaktifan yang lebih tinggi daripada oksida single. Secara umum, oksida Cu, Cr, Mn, Fe, Co, dan Ni adalah kandidat yang menjanjikan untuk difungsikan sebagai katalis dalam pereduksian NO_x yang terjadi pada motor bakar (*Thevenin, 2002*).

2.2.3 Tipe-tipe catalytic converter.

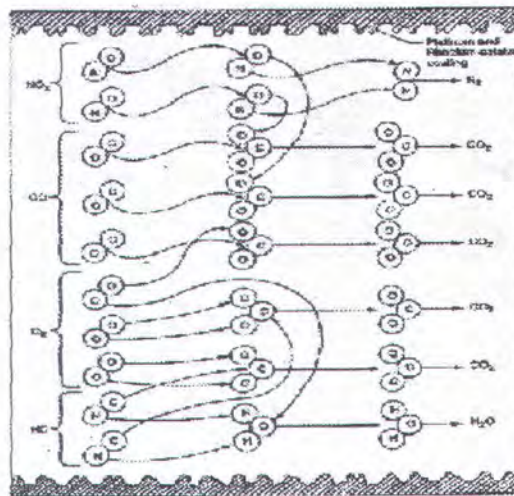
Konverter katalis menurut **Mirmanto (1999)** dibagi dalam 3 tipe, yaitu:

Oksidation Catalytic Converter.

Catalytic converter ini pada dasarnya mampu mengubah HC dan CO menjadi H_2O dan CO_2 . *Catalytic* jenis ini beroperasi pada keadaan udara berlebih (excess air setting). Udara berlebih yang digunakan pada proses oksidasi dapat diperoleh melalui pengaturan campuran miskin (*lean mixture setting*) atau system injeksi udara sekunder. *Catalytic* ini banyak digunakan pada mesin diesel karena kemampuannya mengoksidasi zat-zat pertikel dengan mudah.

Three-way Catalytic Converter.

System ini dirancang untuk mengurangi gas-gas polutan seperti HC, CO dan NO_x yang keluar dari system gas buang dengan cara mengubahnya melalui reaksi kimia menjadi CO_2 , uap air H_2O , dan nitrogen N_2 . Katalis jenis ini lebih banyak digunakan pada motor bensin karena gas buangnya mempunyai kandungan HC dan CO yang relatif lebih banyak.



Gambar 2.5. Proses Reaksi pada *Three-way Catalytic Converter*.

DeNO_x Catalytic converter (Lean Burn).

System ini mempunyai prinsip hampir sama dengan *Three-way Catalytic Converter* tapi NO_x yang ada diubah pada kondisi udara berlebih. *Catalytic* jenis ini mempunyai efisiensi perubahan NO_x mencapai 50%.

2.2.4 Energi Aktivasi dan Katalisis

Pada teori tumbukan, reaksi terjadi dengan cara tumbukan antara molekul atau ion dari reaktan. Pada temperature biasa, molekul tidak cukup memiliki energi dan oleh karenanya tumbukan yang terjadi tidak efektif. Akan tetapi, bila temperature dari system naik, energi kinetic dari molekul naik. Hal ini akan menurunkan energi aktivasi. Energi aktivasi adalah sejumlah energi minimum yang dibutuhkan untuk terjadinya reaksi kimia. Katalis akan menurunkan energi aktivasi dari reaksi dengan menyediakan jalan baru.

2.2.5 Teori Katalisis

Secara garis besar dapat dijelaskan dua teori katalisis, yaitu :

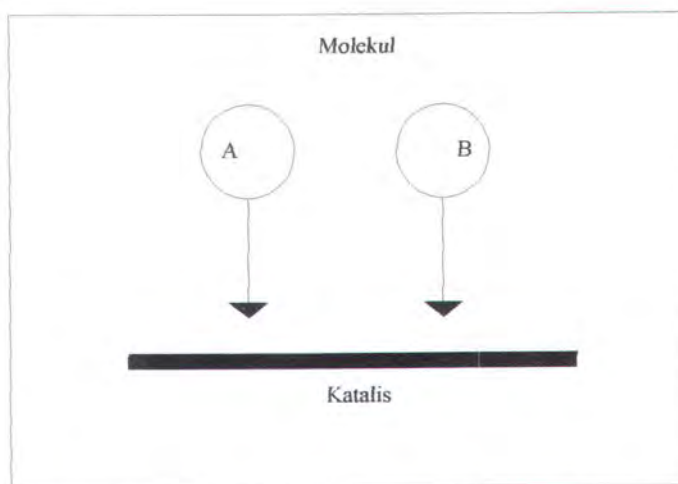
- *Intermediate Compound Formation Theory (homogeneous).*
- *The Adsorption Theory (heterogeneous),* yaitu reaksi dua gas pada solid katalis.



Terdapat empat tahapan pada teori ini, yaitu :

- a. Adsorpsi dari molekul reaktan.

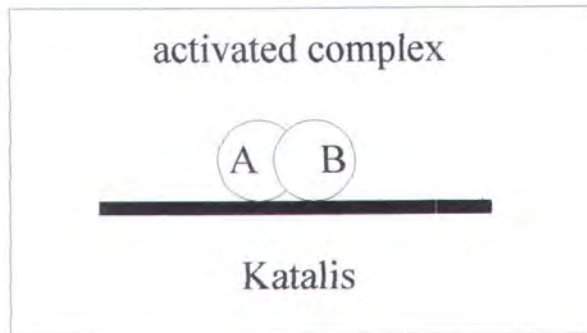
Molekul A dan B menumbuk permukaan katalis dan ditahan pada permukaan.



Gambar 2.6. Adsorpsi dari molekul reaktan.

- b. Pembentukan complex aktif.

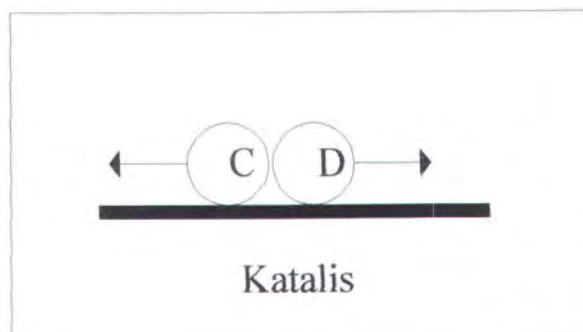
Partikel yang berdekatan saah satu bergabung membentuk intermediate complex (A-B). dimana activated compex tidak stabil itu hanya berlangsung pada keadaan yang singkat.



Gambar 2.7. Pembentukan Complex Actif.

- c. Dekomposisi kompleks aktif.

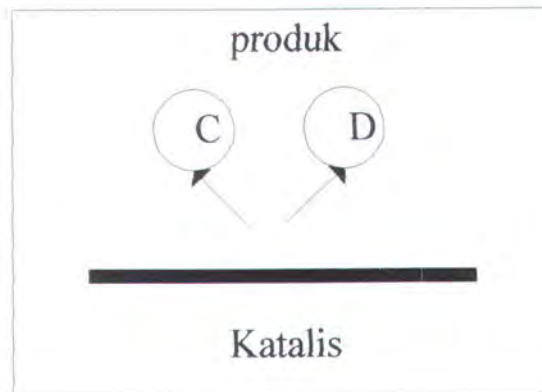
Activated compex pecah membentuk produk C dan D. partikel yang dipisahkan dari produk ditahan pada permukaan katalis dengan ikatan kimia parsial.



Gambar 2.8. Dekomposisi Kompleks Actif.

- d. Pruduk desorpsion.

Partikel produk dilepaskan dari permukaan katalis.



Gambar 2.9. Produk Desorption.

2.2.6 Mekanisme Katalisis

Proses katalisis heterogen terdiri lebih dari satu fase, yang mana umumnya fase katalisnya adalah padat sedangkan reaktan dan produk adalah fase cair atau gas. Ketika reaksi katalis heterogen terjadi, beberapa proses fisika dan proses kimia harus mendapat tempat dalam urutan yang tepat.

Holigen dan *Watson* telah menemukan tahapan-tahapan yang terjadi pada skala molekuler dalam cara-cara berikut ini :

1. Transfer massa reaktan dari bagian utama fluida ke permukaan luar yang kasar dari partikel katalis.
2. Difusi molekul dan /atau aliran Knudsen reaktan dari permukaan luar partikel ke struktur pori bagian dalam.
3. Penyerapan kimia dari sekurang-kurangnya satu reaktan pada permukaan katalis.
4. Reaksi pada permukaan, yang mana dapat meliputi beberapa tahap reaksi.
5. Desorpsi (secara kimia) spesies teradsorpsi dari permukaan katalis.
6. Transfer produk dari pori-pori katalis dibagian dalam ke permukaan luar yang kasar dari katalis oleh difusi molekul normal dan/atau difusi Knudsen.
7. Transfer massa produk dari permukaan bagian luar partikel ke bagian terbesar dari lapisan batas fluida.

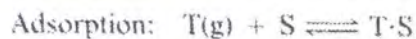
2.2.7 Catalysis on Surface

Reaksi katalisis pada permukaan ini secara umum berdasar pada *membrane reactor technology*. Pada teknologi membrane ini, terdapat beberapa jenis dan bentuk reaktor berbeda yang menggunakan membran. Penggunaan barrier sebagai penghalang terhadap reaksi katalis pad membran, menyempatkan butiran katalis ke membran, dan menggunakan membran itu sendiri sebagai media yang melakukan kontak langsung sebagai katalis.

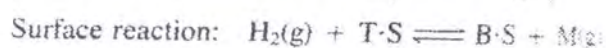
Dua type utama katalis yang menggunakan teknologi membran ini adalah *Inert Membrane Reactor with Catalyst pellets on the Feed side* (IMRCF) dan *Catalyst Membrane Reactor* (CMR). Pada IMRCF ini, katalis bekerja tergantung dari butiran – butiran *pellets* katalis yang dimasukkan kedalam membran. Sedangkan pada CMR, media gas yang dialirkan akan bereaksi langsung dengan permukaan membran.

Reaksi pada permukaan Katalis (surface reaction)

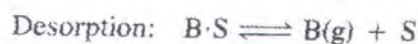
Secara umum reaksi pada katalis dibagi dalam tiga tahapan proses sebagaimana rumusan dibawah ini :



$$r_{AD} = k_A \left(C_T P_T - \frac{C_{T \cdot S}}{K_T} \right) \quad (18)$$

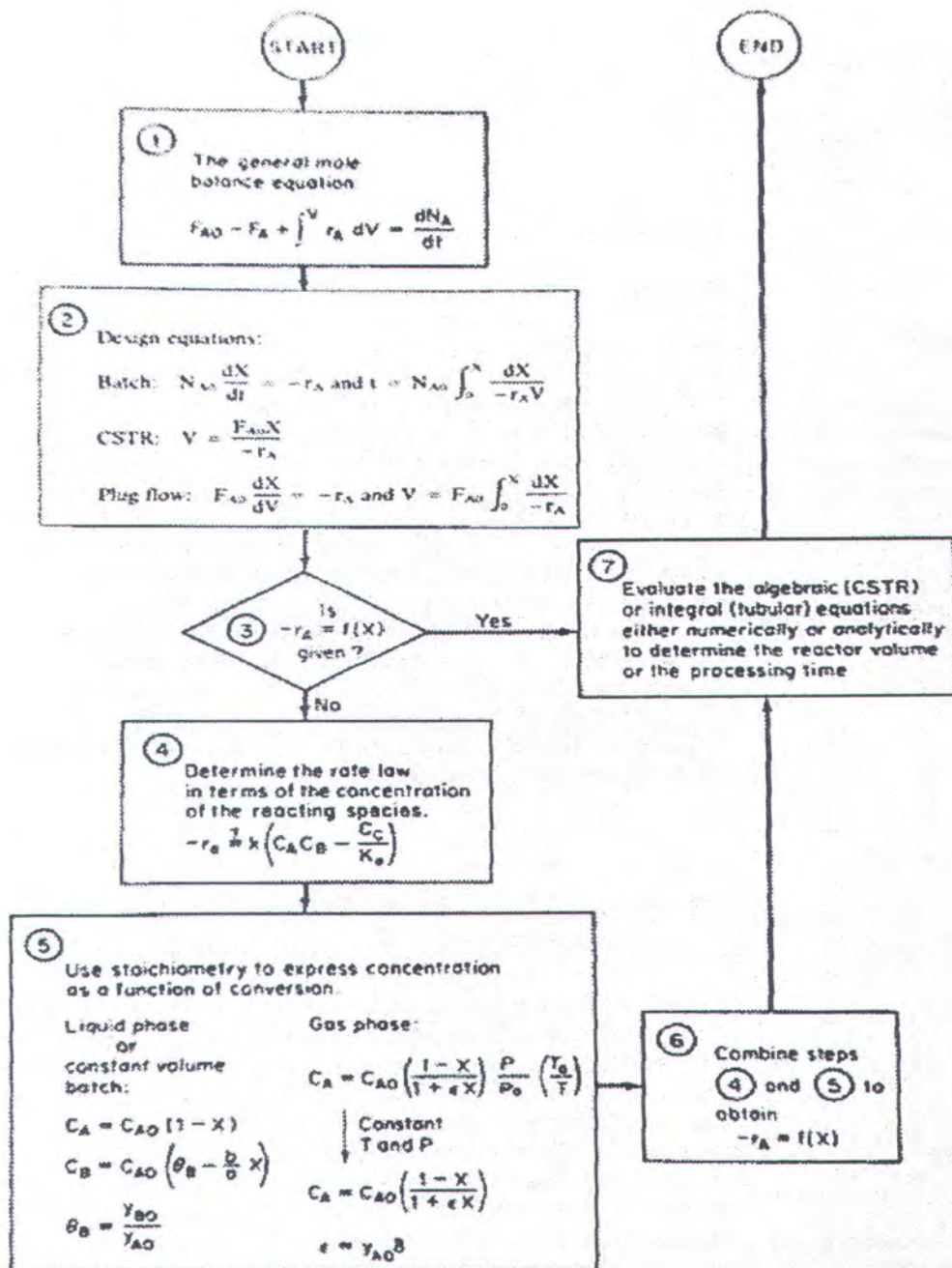


$$r_S = k_S \left(P_{H_2} C_{T \cdot S} - \frac{C_{B \cdot S} P_M}{K_S} \right) \quad (19)$$



$$r_D = k_D \left(C_{B \cdot S} - \frac{P_B C_T}{K_B} \right) \quad (20)$$

Struktur desain umum pada perhitungan reaksi isothermal/non-isothermal dari suatu katalis dapat digambarkan sebagaimana diagram blok dibawah ini :



Gambar 2.10. Diagram perhitungan reaksi isothermal/non-isothermal dari suatu katalis

2.3 PLASMA

2.3.1 Pengertian Plasma

Kita mempelajari tentang materi di bangku sekolah dimana materi dibagi menjadi 3 kelompok utama, yaitu padat, cair, dan gas. Kita semua tidak asing dengan ketiga materi tersebut karena ketiganya merupakan komponen pembentuk planet yang kita tinggali, tubuh kita, dan semua yang dapat kita sentuh. Sebagian manusia merasa asing dengan apa yang diistilahkan dengan “materi keempat”, yang dinamai plasma, dan biasanya kata plasma diasosiasikan dengan plasma darah sebuah istilah dalam biologi yang tidak ada kaitannya dengan materi fisik plasma.

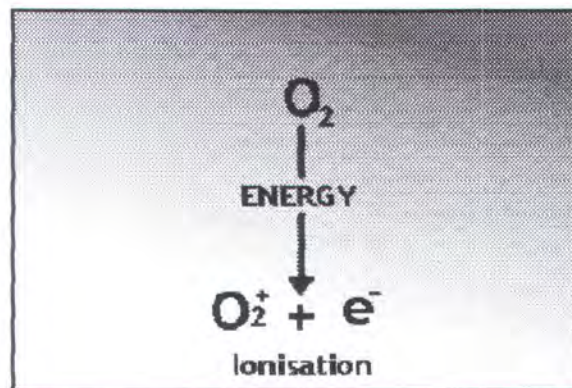
Jika kita mempunyai sebuah materi yang dingin, atom-atom mikroskopisnya atau molekulnya terkunci secara kokoh pada tempat yang relative satu dengan lainnya dalam struktur yang teratur, dan materi ini disebut materi padat.

Jika kita memompakan energi ke materi tersebut, contohnya dengan memanaskannya atau dengan menyinarinya dengan intens cahaya, temperturnya akan meningkat dan atom-atomnya mulai bergerak, menggetarkan tempat struktur dimana atom tersebut berada. Dengan semakin bertambahnya energi maka gerakan atom akan semakin menguat sehingga cukup untuk memecahkan struktur atom dan mulai bergerak secara acak tetapi tetap berdekatan dengan atom lainnya. Materi padat melebur dan tingkatan materinya berubah menjadi materi cair.

Jika energi terus diberikan ke materi cair tersebut maka energi tersebut akan menyebabkan atom-atom bergerak menjauh satu dengan lainnya dengan tetap bergerak secara acak sehingga cairan tersebut menguap menjadi gas.

Pada ketiga tingkatan materi tersebut, atom-atom dan molekul-molekulnya secara elektrik bersifat netral dimana setiap atom mempunyai jumlah proton dan electron yang sama besarnya. Jika kita melanjutkan untuk menambahkan masukan energi ke dalam materi, maka pada batas ambang tertentu materi secara tiba-tiba akan mulai memancarkan cahaya. Pada saat tersebut materi tersebut bukan lagi materi gas tetapi telah berubah tingkatan materinya menjadi materi plasma (materi keempat).

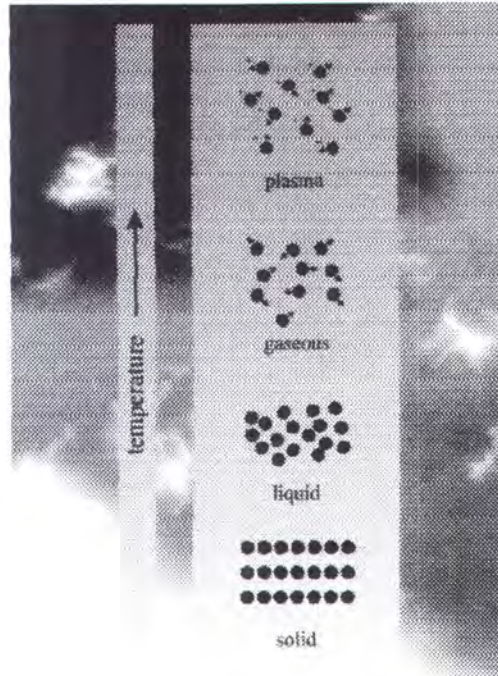
Yang terjadi adalah bahwa energi mengubah atom-atom dan molekul-molekul menjadi dua atau lebih atom yang bermuatan. Sebagai contoh jika sebuah elektron lepas dari orbitnya pada suatu atom netral maka akan terbentuk dua buah atom bermuatan yaitu elektron bebas dan ion positif yang merupakan atom yang kehilangan sebuah elektronnya.



Gambar 2.11. Proses Pembentukan Atom dari Molekul.

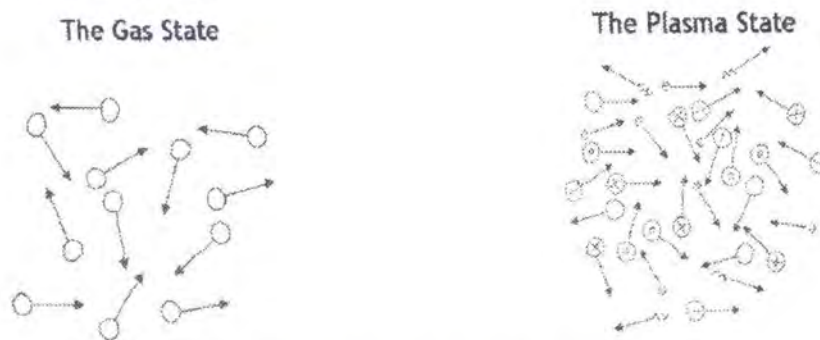
Kondisi plasma yang terdiri atas komponen muatan listrik negatif dan positif yang bergerak bebas membuat plasma sering diistilahkan sebagai “gas yang terionisasi”. Plasma jika kerapatannya cukup maka atom-atom plasma dapat bergerak secara homogen dan plasma sangat responsive terhadap medan listrik dan medan magnet.

Pada level mikroskopis, plasma mempunyai spesies yang lebih kaya dan lebih bervariasi serta kompleks dibandingkan dengan state materi lainnya (padat, cair, gas). Plasma dapat terdiri atas ratusan spesies mikroskopis yang berbeda yang terbentuk karena adanya tumbukan antarkomponen pembentuk plasma, misalnya elektron bebas menumbuk atom atau molekul netral yang menghasilkan berbagai ion yang berbeda, *chemically reactive radicals*, pecahan molekul (*molecular fragment*) yang kesemuanya bergerak dan berinteraksi dan akan memberikan pancaran cahaya yang menyebabkan plasma berpendar.



Gambar 2.12. Struktur dan Proses Pembentukan Plasma.

Plasma didefinisikan sebagai kumpulan dari ion, electron bebas, dan atom bebas (*Sugiarto, 2002*)



Gambar 2.13. Kondisi molekuler Gas dan Plasma.

2.3.2 Reaktor Plasma

Dari sudut pandang kondisi fisiknya plasma dapat dibagi menjadi 2 macam, yaitu thermal plasma dan non-thermal plasma. Thermal plasma dibuat dengan memanaskan sistem dengan temperature lebih dari 2000°C (*Slone dkk*). Kebutuhan temperatur yang sangat tinggi untuk membentuk plasma membuat thermal plasma tidak efisien dan membutuhkan pengaturan panas yang rumit dan

hal ini dianggap tidak praktis untuk berbagai aplikasi, oleh karenanya non-thermal plasma menjadi lebih berkembang.

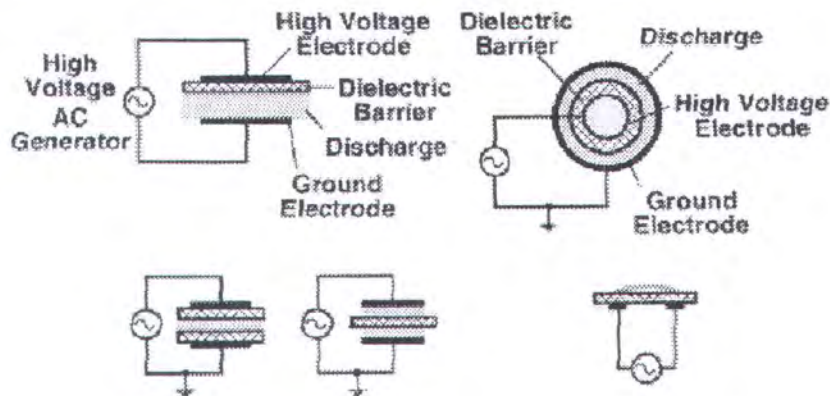
Pembuatan non-thermal plasma dilakukan dengan mengarahkan energi listrik untuk membentuk elektron bebas yang kemudian bereaksi dengan spesies gas membentuk plasma.

Contoh pembuatan plasma dengan energi listrik ini dapat dilakukan dengan menghadapkan dua buah elektrode di udara, seperti kita ketahui bahwa udara adalah isolator yaitu materi yang tidak dapat menghantarkan listrik. Namun, jika pada kedua electrode tersebut diberikan tegangan listrik yang cukup tinggi kurang lebih, lebih besar dari 10 kilovolt, sifat konduktor akan muncul pada udara tersebut, yang bersamaan dengan itu pula arus listrik akan mulai mengalir (*electrical discharge*) dimana fenomena ini disebut sebagai *electrical breakdown*. Mengalirnya arus listrik menunjukkan akan adanya ionisasi yang mengakibatkan terbentuknya ion serta elektron pada udara diantara dua electrode tersebut. Semakin besar tegangan listrik yang diberikan pada elektrode maka akan semakin banyak jumlah ion dan electron yang terbentuk.

Aksi reaksi yang terjadi antara ion dan electron dalam jumlah yang banyak ini menimbulkan kondisi udara diantara dua electrode ini tidak netral, inilah yang disebut sebagai plasma atau lebih tepatnya *non-thermal plasma*. Non-thermal plasma sering disebut juga sebagai *non-equilibrium plasma*.

Salah satu teknik untuk menciptakan plasma adalah dengan menggunakan dielectric barrier discharge. *Dielectric barrier discharge* (DBD) atau sering hanya disebut *barrier discharge* atau *silent discharge* mempunyai aplikasi yang sangat luas dalam berbagai industri. Seperti pada industri produksi Ozone, yang digunakan untuk mentreatment air dan udara. Sekarang penggunaan DBD semakin melebar seperti pada laser CO₂, lampu excimer, atau panel display plasma seperti pada televisi. Pemrosesan seperti pengendalian polusi dengan menggunakan DBD merupakan hal yang menjanjikan untuk masa mendatang. DBD dapat memproduksi *Non-Thermal Plasma* pada kondisi tekanan atmosfer tanpa mengakibatkan adanya temperatur yang tinggi seperti yang terjadi pada *electrical arc*. Dengan DBD hal ini dapat dicapai dengan cara yang lebih

sederhana dibandingkan dengan teknik yang lain seperti *low pressure discharge*, *fast pulsed high pressure discharge* atau *electron beam injection* (Kogelschatz, 2000). Fleksibilitas konfigurasi DBD yang berkaitan dengan bentuk geometris, media operasi, dan parameter operasi merupakan keunggulan dari DBD.



Gambar 2.14. Konstruksi Dielektric Barrier Discharge.

Kunci utama pada DBD sehingga DBD dapat berfungsi dengan baik adalah keberadaan dielectric pada *discharge gap* yang mempunyai dua fungsi utama pada system, yaitu ketika terjadi *breakdown* ia akan mengarahkan aliran arus listrik melewati discharge gap dan mendistribusikan discharge ke seluruh permukaan electrode. Karena DBD menggunakan energi listrik untuk membentuk plasma, maka plasma yang dihasilkan merupakan *non-thermal plasma*, yang berarti bahwa elektron panas dihasilkan pada *discharge*. Elektron-elektron panas tersebut akan mengakibatkan terjadinya reaksi kimia pada plasma sementara temperatur partikel yang lebih berat (molekul, atom dan ion) tetap pada temperatur rata-rata gas yang melewati *discharge gap*. Kelebihan ini dikombinasikan dengan kemampuan untuk melewati volume gas yang besar membuat DBD mempunyai daya tarik tersendiri untuk dikombinasikan dengan katalis dimana pengaturan temperatur biasanya mempunyai peranan yang penting (Kraus dkk, 2000).

2.3.3 Penerapan Non-thermal Plasma untuk Mengatasi Emisi Nox

Plasma adalah gas yang terdiri dari elektron bebas, ion-ion, atom-atom, dan molekul-molekul pada berbagai variasi state eksitasi. Reaktor *non-thermal plasma* menghasilkan elektron berenergi yang akan menumbuk molekul-molekul gas sehingga menghasilkan *radical* yang secara kimia akan bereaksi dengan polutan membentuk gas yang tidak membahayakan. Plasma jika sendirian tidak bisa digunakan untuk mereduksi emisi NOx, oleh karenanya ia harus dikombinasikan dengan katalis yang mampu mereduksi emisi Nox (*Panov dkk*).

Plasma terbentuk dari kumpulan elektron bebas, ion dan atom, aksi-reaksi pada ion dan electron. Dalam plasma, reaksi seperti reaksi ionisasi, *excitasi*, dan *discosiasi* dengan gas akan berlanjut dengan terbentuknya spesies aktif (ion, electron, molekul yang mudah bereaksi) yang memiliki sifat radikal sangat mudah bereaksi dengan senyawa-senyawa yang ada disekitarnya (*Sugiarto, 2002*). Spesies aktif yang terbentuk ini kemudian bereaksi dengan gas NOx yang mengubahnya menjadi senyawa yang lebih mudah tereduksi. Pada proses ionisasi, ikatan electron pada atom terlepas dari atomnya. Sebagai contoh ionisasi atom Argon dapat diekspresikan sbb. :



Transfer energi memungkinkan elektron untuk melompat ke tingkatan energi yang lebih tinggi dalam sebuah atom. Proses ini dikenal sebagai eksitasi. Tingkatan eksitasi dari sebuah atom secara konvensional ditunjukkan dengan sebuah tanda asterisk :

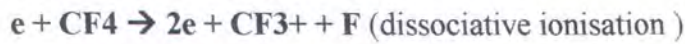


Selain itu proses yang dapat terjadi adalah disosiasi molekul. Jika oksigen, sebagai contoh, adalah gas yang diberi tegangan, molekul oksigen dapat didisosiasi menjadi dua atom oksigen dimana gas monoatomik seperti argon tidak dapat didisosiasi.



Hasil dari disosiasi adalah semakin bertambahnya kemampuan bereaksi karena hasil yang diperoleh biasanya lebih reaktif daripada molekul asalnya. Disosiasi

dapat terjadi dengan atau tanpa dibarengi oleh proses ionisasi (<http://www.quorumtech.com>), sebagai contoh:



Jika treatment plasma diterapkan pada gas buang mesin diesel yang banyak mengandung oksigen dan ketiga reaksi tersebut terjadi pada gas buang tersebut maka spesies aktif yang terbentuk diantaranya adalah spesies radikal seperti atom O, atom N, dan jika ditambahkan komponen HC maka akan terbentuk HC radikal. Karena aksi-reaksi yang terjadi tersebut maka gas buang setelah melewati reaktor plasma akan lebih banyak mengandung NO₂ daripada NO, dimana NO₂ akan lebih mudah diurai menjadi gas N₂ karena molekul NO₂ lebih mudah untuk direduksi. Jadi peranan utama treatment plasma adalah dengan mengonversikan gas nitrogen monoksida (NO) menjadi gas nitrogen dioksida (NO₂) yang lebih mudah direduksi (*Panov dkk*). Sehingga diharapkan dengan komposisi NO_x yang lebih banyak mengandung NO₂ dibandingkan dengan NO maka akan lebih banyak NO_x yang dapat direduksi oleh katalis. Hal ini dirasa efektif karena NO_x yang diemisikan oleh mesin pembakaran dalam adalah gabungan dari nitrogen monoksida NO dan nitrogen dioksida NO₂ dimana 90% dari komposisi NO_x terdiri atas NO (*Lubis, 2003*).

2.3.4 Formulasi perhitungan dalam Non – Thermal Plasma

Perhitungan Power Input pada Discharge.

Cara yang biasa dilakukan untuk menghitung daya adalah dengan melakukan pengukuran tegangan dan arus *discharge*, dan perhitungan daya dapat dilakukan menurut rumusan berikut (*Kraus dkk, 2000*) :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T U(t).I(t).dt$$

dengan mensubstitusikan $I(t) = \frac{dQ(t)}{dt}$ maka persamaan di atas menjadi :

$$P = \frac{1}{T} \oint U(Q).dQ = C_M . f \oint U(U_C).dU_C \quad \text{-----} \quad (24)$$

keterangan :

f : frekuensi

C_M : kapasitansi terukur.

$U_C = \frac{Q}{C_M}$: tegangan yang berkorespondensi terhadap C_M .

Perhitungan Medan Listrik pada Gap.

Medan listrik untuk *gas - gap* dihitung menggunakan pembagian tegangan kapasitif pada reaktor DBD. Intensitas medan listrik untuk gas gap (E_{gas}) dapat dihitung dengan rumusan berikut (Kim Yongho et al, 2003) :

$$E_{\text{gas}} = \frac{\epsilon_{\gamma} \cdot V_{\text{app}}}{\epsilon_{\gamma} \cdot d + 2t} \quad \dots\dots\dots (25)$$

dimana :

ϵ_{γ} : Permitifitas relative barrier

V_{app} : Nilai rms supplied voltage.

d : Jarak gas gap

t : Ketebalan barrier.

Barangsiapa yang memperhatikan kepentingan saudaranya,
maka Allah akan memperhatikan kepentingannya.

Barangsiapa yang melapangkan suatu kesulitan sesama muslim,

maka Allah akan melapangkan satu kesulitan dari beberapa kesulitan dihari kiamat.

Dan barangsiapa yang menutupi kejelekan orang lain maka Allah akan menutupi kejelekannya dihari kiamat. (HR. Bukhari dan Muslim)



BAB III

METODOLOGI

PENELITIAN

BAB III

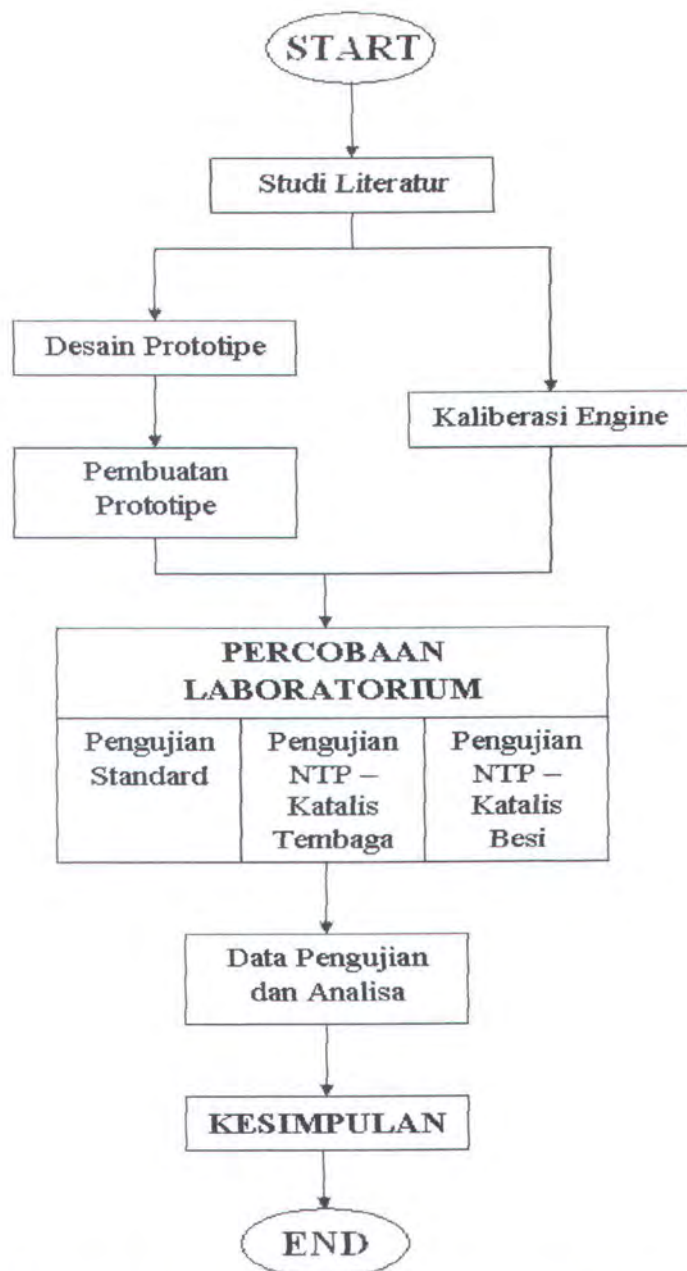
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode.

Metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam tugas akhir ini adalah dengan menggunakan metode rekayasa dan eksperimen. Dari hasil eksperimen akan dilakukan perbandingan dari hasil pengujian emisi NO_x pada tiga kondisi. Kondisi tersebut antara lain saat motor diesel beroperasi normal (standard) tanpa pemberian NTP - katalis pada gas buang, saat motor diesel terpasang NTP – Katalis tembaga sebagaimana penelitian sebelumnya dan yang terakhir adalah kondisi hasil pengujian emisi NO_x dengan perlakuan non-thermal plasma (NTP) dan katalis besi pada gas buangnya.

Metode rekayasa dilakukan ketika melakukan desain prototipe hingga pembuatan prototipe. Sedangkan metode experiment dilakukan ketika prototipe telah selesai dibuat dan diesel engine yang telah dikalibrasi juga telah siap untuk digunakan pengujian.

Adapun secara jelas alur pengerjaan Tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Flowchart pengerjaan tugas akhir.

Adapun penjelasan dari tahapan tersebut antara lain :

1. Study Literatur

Studi literature ini dimaksudkan untuk mendapatkan ide serta untuk memperoleh data/informasi serta berbagai rumusan yang diperlukan dengan menggunakan buku - buku dan sumber informasi lain yang berkaitan dengan tema penulisan tugas akhir. Studi literatur juga diperoleh

dari berbagai informasi yang tersedia dari website yang didapat dengan browsing melalui internet.

Dengan adanya studi literature diharapkan dasar teori yang digunakan sebagai landasan dalam pengerjaan tugas akhir dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

2. Desain Prototipe

Desain dari prototipe ini mengacu pada dimensi NTP – Katalis lama, sehingga tidak ada perhitungan yang rumit untuk menentukan dimensi dari katalis akan tetapi langsung memakai ukuran yang telah ada pada katalis tembaga, hanya bahan katalisnya saja yang berbeda karena digantikan oleh besi (Fe). Hasil dari desain modifikasi prototipe ini berupa spesifikasi bahan dan gambar rancangan prototipe.

3. Pembuatan Prototipe

Membuat katalis baru dari bahan besi dengan dimensi yang sama dengan katalis lama.

4. Kalibrasi Engine

Engine sebagai media kalibrasi (kalibrator) prototype harus terlebih dahulu dilakukan kalibrasi. Hasil kalibrasi akan menghasilkan data karakteristik engine yang mendukung dan menyatakan unjuk kerja (*performance engine*) tersebut.

5. Percobaan Laboratorium

Dalam tugas akhir ini kondisi pengujian dilakukan dengan mode variasi beban motor dengan putaran yang konstan. Hal ini diambil dengan alasan bahwa titik berat pengujian adalah pengukuran emisi gas buang NO_x, dimana NO_x akan terpengaruh oleh temperatur motor sedangkan temperature akan dipengaruhi oleh besarnya beban motor. Sehingga dengan variasi beban ini maka konsentrasi NO_x juga akan bervariasi sehingga trend konsentrasi NO_x pada setiap pembebanan dapat dianalisa. Pada setiap kondisi pengujian gas buang akan divariasikan lima variasi pembebanan motor diesel pada setiap variasi putaran, putaran pada saat pengujian direncanakan sebanyak dua variasi. Parameter yang akan

diambil sebagai data pengujian meliputi putaran mesin diesel, beban mesin diesel, temperature gas buang, serta kandungan emisi NO_x pada gas buang.

Data yang dihasilkan disini adalah data hasil percobaan yang terdiri dari tiga kondisi percobaan, yaitu :

a. Data pengujian standart

Kondisi yang dimaksud adalah kondisi dari hasil percobaan pengukuran NO_x dimana diesel tidak dipasang NTP – katalis.

b. Data pengujian NTP – katalis Tembaga

Pengujian yang dimaksud adalah kondisi dari hasil percobaan pengukuran NO_x dimana diesel dipasang NTP – katalis tembaga dari prototipe yang dihasilkan oleh percobaan terdahulu.

c. Data pengujian NTP – katalis besi

Pengujian yang dimaksud adalah kondisi dari hasil percobaan pengukuran NO_x dimana diesel dipasang NTP – katalis besi.

6. Analisa data

Data – data yang akan menjadi dasar analisa adalah data yang telah didapatkan dari penurunan kadar NO_x antara prototipe lama (Tembaga) dengan prototipe baru (Besi) dengan titik referensi adalah kadar NO_x gas buang tanpa pemasangan prototipe (Standard).

Data – data tersebut sebagaimana pada saat pengujian, maka hasil yang didapat juga tersaji dalam 3 kategori kondisi pengujian. Dengan data – data utama yang diperoleh meliputi putaran motor disel, beban motor disel, temperature gas buang, dan kandungan emisi NO_x pada gas buang.

Data dari ketiga kondisi pengujian tersebut akan direpresentasikan dalam bentuk grafik-grafik sehingga memudahkan penganalisaan dan pembahasan serta untuk membaca trend yang terjadi. Dan untuk selanjutnya data dari hasil ketiga kelompok pengujian tersebut akan dibandingkan satu dengan lainnya dan dikaitkan pula dengan landasan teori yang ada sebagai bahasan hasil pengujian.

7. Kesimpulan

Kesimpulan ini diambil dari hasil proses penganalisaan data yang telah didapatkan pada saat percobaan laboratorium. Kesimpulan ini dilaksanakan untuk pencapaian tujuan dari penulisan tugas akhir ini.

3.2. Persiapan.

Benda Uji.

Benda uji yang digunakan pada penelitian ini dikelompokkan menjadi tiga macam benda uji yaitu benda uji untuk kelompok normal (standar), kelompok kontrol NTP - katalis tembaga dan benda uji untuk kelompok kontrol NTP - katalis besi.

Adapun benda uji untuk kelompok normal (standard) disini maksudnya adalah kondisi knalpot mesin diesel tanpa perlakuan apapun. Untuk kelompok kontrol NTP – Katalis Tembaga, berarti adanya perlakuan khusus pada mesin diesel dengan memasang NTP – Katalis tembaga pada knalpot mesin diesel, dimana prototipe sudah beroperasi optimal (dengan telah dialirkan sumber energi listrik). Sedangkan untuk kelompok terakhir adalah kelompok kontrol NTP – Katalis besi. Pada kelompok terakhir ini sama dengan kontrol pada NTP – Katalis Tembaga, akan tetapi katalisnya telah diganti dengan katalis dari besi.

3.3. Peralatan Uji.

Peralatan uji yang digunakan pada penelitian ini dapat dibagi menjadi dua macam kelompok yaitu alat uji dan alat ukur.

Alat Uji.

Alat uji yang digunakan pada penelitian ini adalah mesin diesel DONGFENG R180 yang terdapat di laboratorium Motor Bakar Dalam Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS Surabaya. Spesifikasi utama mesin diesel yang dimaksud sebagai alat uji diatas adalah sebagaimana tersaji dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Spesifikasi Mesin Diesel Uji

ITEM	
Model	DONGFENG model R180
Tipe	Single – cylinder, horizontal, water – cooled, four – stroke, swirl combustion chamber
Cylinder bore	80 mm
Piston Stroke	80 mm
Piston Displacement	0,402 L
12 – hour output	5,15 kw (7 PS)
Overload output	5,67 kw (7,7 PS)
Rated speed	2600 rpm
Combustion ratio	21 ± 1
Specific Fuel Oil Consumption (SFOC)	Not more than 269,3 g/kw.h (198 g/PS.h)
Specific Lub Oil Consumption (SLOC)	Not more than 3,4 g/kw.h (2,5 g/PS.h)
Valve clearance (cold engine)	Inlet valve : 0,15 ~ 0,25 mm Exhaust valve : 0,25 ~ 0,35 mm
Valve timing	
Intake valve open	$14^{\circ} 30' \pm 3^{\circ}$ before T.D.C
Intake valve close	$37^{\circ} 30' \pm 3^{\circ}$ after B.D.C
Exhaust valve open	$48^{\circ} 30' \pm 3^{\circ}$ before B.D.C
Exhaust valve close	$15^{\circ} 30' \pm 3^{\circ}$ after T.D.C
Fuel Injection timing	$17^{\circ} \pm 1^{\circ}$ before T.D.C
Fuel Injection pressure	$14,2 \pm 0,5$ MPa (142 ± 5 kgf/cm ²)
Type of injection pump	Helical groove, individual rack (Plunger dia.6 mm)
Type of injector	Single – orifice, needle – valve ZS4S1
Type of governor	Mechanical, full range, centrifugal

Tabel 3.1. (Lanjutan) Spesifikasi Mesin Diesel Uji	
Rotation direction of flywheel	Counter – clockwise (view from flywheel side)
Lubricating system	Pressure and splashing
Methode of starting	Manual, speeding – up
Capacity of fuel tank	6l
Capacity of cooling water	7l
Capacity of lubricating oil	2,5l
Specification of flywheel type alternator	90 W / 12 V (3 – group)
Net weight	70 kg
Overall dimensions	625 x 341 x 464 mm (L x W x H)

Alat Ukur.

Alat ukur yang digunakan pada eksperimen ini adalah sbb. :

1. Generator.

Generator set yang terpasang ke mesin diesel digunakan untuk memberikan beban kepada engine sekaligus untuk mengukur beban engine pada waktu pengujian. Spesifikasi utama generator set yang dimaksud sebagai salah satu alat ukur diatas adalah sebagaimana tersaji dalam Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Spesifikasi generator.

ITEM	
Merk	ST series
Type	ST - 75
Daya	7,5 kW
Putaran	1500 RPM
Current	
Series connection	32,6 A
Parallel connection	65,2 A



Tabel 3.2. (Lanjutan) Spesifikasi generator.	
Voltage	
Series connection	230 V
Parallel connection	115 V
Pole number	4
Power factor ($\cos \Phi$)	1
Frequency	50 Hz
Phase	1

2. Gelas Ukur.

Gelas ukur digunakan untuk mengukur jumlah bahan bakar yang dikonsumsi oleh engine pada waktu pengujian dilakukan.

3. *Stop Watch*.

Stop watch digunakan untuk mengukur waktu yang dibutuhkan oleh engine untuk mengkonsumsi sejumlah bahan bakar dengan volume tertentu (ditentukan penguji)

4. Thermometer.

Thermometer digunakan untuk mengukur temperature gas buang mesin diesel uji.

5. *Motor Vehicle Gas Analyzer*.

Alat ini digunakan untuk mengukur emisi gas NOx motor diesel yang diuji setelah gas buang dilewatkan prototipe. Direncanakan alat uji NOx didapatkan dari Balai Teknik Kesehatan Lingkungan (BTKL) Surabaya.

3.4. Engine Set Up.

Engine sebagai media kalibrasi (kalibrator) untuk prototype harus terlebih dahulu dilakukan kalibrasi. Kalibrasi ini akan menghasilkan data karakteristik engine yang mendukung dan menyatakan unjuk kerja (*performance*) engine tersebut.

Langkah – langkah Melakukan Kalibrasi Mesin.

Kalibrasi mesin dilakukan pada putaran engine sebesar 1900 dan 2300 RPM.

Tahap persiapan

1. Memeriksa instalasi *engine test bed* dan kelengkapannya.
2. Menyiapkan peralatan yang dibutuhkan saat melakukan kalibrasi engine.
3. Menyiapkan bahan bakar ke dalam gelas ukur sehingga dapat diamati laju penggunaan bahan bakar.
4. Menstart engine kira-kira 15 menit pada putaran idle speed tanpa beban.

Tahap Pengukuran/Pencarian daya maksimal

1. Putaran engine dijaga konstan dengan cara meningkatkan putaran/gas mesin pada setiap penambahan beban.
2. Beban diatur pada beban pertama sebesar 500 Watt
3. Melakukan pengukuran terhadap besar pembebanan (tegangan) yang terdapat pada voltmeter (yang terpasang di generator), besar arus, laju konsumsi bahan bakar di gelas ukur (volume bahan bakar yang dikonsumsi mesin di gelas ukur ditentukan sebesar 20 cc), waktu mengkonsumsi bahan bakar.)
4. Memberi penambahan beban secara perlahan-lahan. 500 W, 1000 W, 1500 W, 2000 W...sampai pada kondisi engine tidak mampu lagi menerima pembebanan (suara engine naik turun).

Data Kalibrasi Engine.

Karakteristik / performance engine akan didapat setelah kalibrasi selesai dilakukan. Karakteristik engine akan berupa karakteristik SFOC, MEP, Efisiensi thermal.

Data awal kalibrasi engine adalah sebagai berikut :

- Putaran Engine ditentukan sebesar 1900 dan 2300 RPM.
- Penambahan beban secara bertahap ditentukan sebesar 500 Watt.
- Volume bahan bakar ditentukan sebesar 20 cc.

Data yang akan diukur dari kalibrasi engine adalah sebagai berikut :

- Tegangan Generator (Volt)
- Waktu yang dibutuhkan oleh mesin diesel untuk mengkonsumsi bahan bakar sebanyak 20 cc.
- Temperature gas buang ($^{\circ}\text{C}$).
- Arus yang keluar dari Generator (Ampere)

Data yang akan dihitung dari kalibrasi engine adalah sebagai berikut :

- Daya Generator (kW).
- Kecepatan Aliran Bahan Bakar (kg/s).
- SFOC (*specific fuel oil consumption*) (gram/kW.h).
- Torsi (kg.m)

Untuk mengolah data maka proses perhitungan dilakukan dengan memakai persamaan-persamaan seperti tertera pada dasar teori.

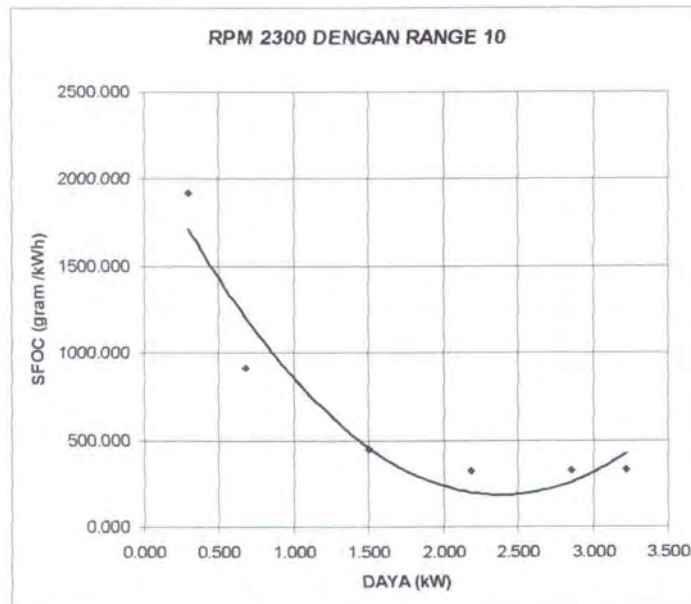
Tabel 3.3. Rumus-rumus perhitungan performa engine.

ITEM	RUMUS
Kecepatan aliran fuel	$m_{BB} = \rho_{BB} \cdot \frac{V_{BB}}{t_{BB}} \text{ (Kg/s)}$ $\rho_{BB} = 830 \text{ (Kg/m}^3\text{)} : \text{ masa jenis bahan bakar}$
Daya	$P = \frac{V \cdot I}{\eta_M \eta_S} \text{ (Watt)}$
SFOC	$b_e = \frac{m_{BB}}{Ne} 3,6 \cdot 10^6 \text{ (g/Kw.h)}$
Torsi	$\tau = \frac{71620 \cdot P \cdot 1,34}{rpm} \text{ (kg.m)}$

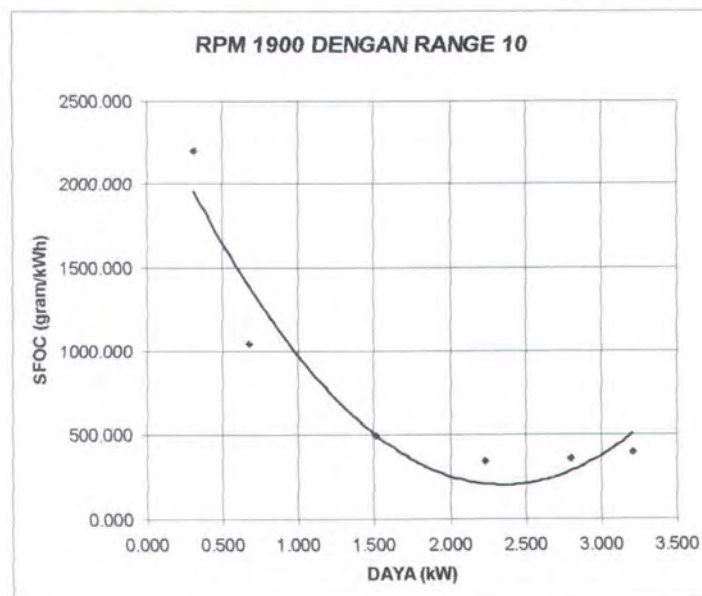
Dari pengujian untuk mengkalibrasi motor diesel didapat data-data yang terangkum dalam table 3.4. dan Grafik 3.1. dan Grafik 3.2.

Tabel 3.4 Data performance diesel hasil kaliberasi.

Rated Power Speed (2300 RPM)											
BEBAN	RPM		Teg.	ARUS	t BB	Vol BB	pBB	mBB	Kec. Aliran BB	Daya	SFOC
(Watt)	Mesin	Genset	(Volt)	(Amp)	(sec)	(ml)	(Kg/m ³)	Kg	(Kg/s)	(kW)	(gr/kW.h)
0	2300	1500	230	0	109	20	830	0.0166	0.00015	0	0.00
350	2300	1500	228	1.3	105	20	830	0.0166	0.00016	0.296	1920.19
850	2300	1500	233	2.9	97	20	830	0.0166	0.00017	0.676	911.77
1750	2300	1500	230	6.5	89	20	830	0.0166	0.00019	1.495	449.14
2600	2300	1500	225	9.7	85	20	830	0.0166	0.00020	2.183	322.13
3500	2300	1500	221	12.9	65	20	830	0.0166	0.00026	2.851	322.49
4100	2300	1500	216	14.9	56	20	830	0.0166	0.00030	3.218	331.58
Maximum Torque Speed (1900 RPM)											
BEBAN	RPM		Teg.	ARUS	t B.B	Vol B.B	pBB	mBB	FCR	Daya	SFOC
(Watt)	Mesin	Genset	(Volt)	(Amp)	(sec)	(ml)	(Kg/m ³)	Kg	(Kg/s)	(kW)	(gr/kWh)
0	1900	1500	240	0	110	20	830	0.0166	0.00015	0	0.00
350	1900	1500	240	1.3	87	20	830	0.0166	0.00019	0.312	2201.59
850	1900	1500	232	2.9	85	20	830	0.0166	0.00020	0.673	1044.97
1750	1900	1500	232	6.5	80	20	830	0.0166	0.00021	1.508	495.36
2600	1900	1500	230	9.7	79	20	830	0.0166	0.00021	2.231	339.07
3500	1900	1500	217	12.9	60	20	830	0.0166	0.00028	2.799	355.80
4100	1900	1500	215	14.9	47	20	830	0.0166	0.00035	3.204	396.91



Grafik 3.1 Grafik trendline performance diesel pada putaran 2300 rpm.



Grafik 3.2 Grafik trendline performance diesel pada putaran 1900 rpm.

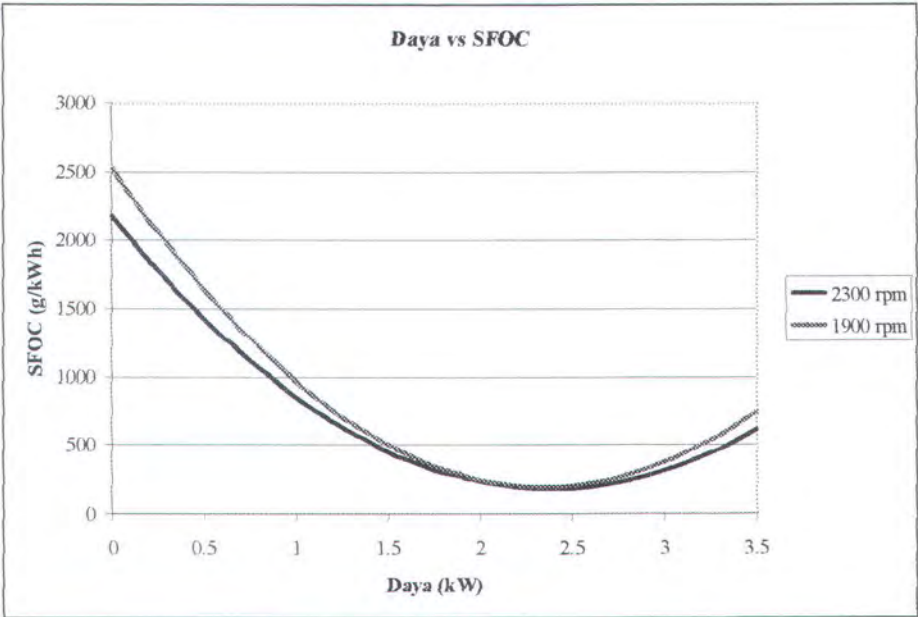
Dari data hasil kalibrasi engine tersebut didapatkan kondisi engine bekerja pada kondisi optimum adalah pada daya 2500 Watt sehingga panduan untuk kalibrasi prototype adalah dengan menggunakan kondisi 100% engine pada pembebanan 2500 Watt kondisi beban engine dengan beban lampu saat 100% adalah sebesar 3500 Watt.

Dari trendline yang dihasilkan oleh kalibrasi engine tersebut didapatkan hasil sebagaimana tersaji dalam tabel 3.5. dan Grafik performa engine yang tertuang dalam Grafik 3.3

Tabel 3.5 Data perhitungan kalibrasi engine.

Rated Power Speed (2300rpm)			Max.Torque Speed (1900rpm)		
Daya	SFOC	Torsi	Daya	SFOC	Torsi
(kW)	(gram/kWh)	Kg.m	(kW)	(gram/kWh)	Kg.m
0.000	2175.300	0.000	0.000	2531.000	0.000
0.100	2011.645	0.042	0.100	2337.021	0.051
0.200	1855.001	0.083	0.200	2151.464	0.101
0.250	1779.308	0.104	0.250	2061.844	0.126
0.300	1705.367	0.125	0.300	1974.329	0.152
0.400	1562.743	0.167	0.400	1805.616	0.202
0.500	1427.130	0.209	0.500	1645.325	0.253
0.600	1298.527	0.250	0.600	1493.456	0.303
0.625	1267.472	0.261	0.625	1456.805	0.316
0.700	1176.935	0.292	0.700	1350.009	0.354
0.800	1062.353	0.334	0.800	1214.984	0.404
0.900	954.781	0.376	0.900	1088.381	0.455
1.000	854.220	0.417	1.000	970.200	0.505
1.100	760.669	0.459	1.100	860.441	0.556
1.200	674.129	0.501	1.200	759.104	0.606
1.250	633.488	0.522	1.250	711.594	0.631
1.300	594.599	0.542	1.300	666.189	0.657
1.400	522.079	0.584	1.400	581.696	0.707
1.500	456.570	0.626	1.500	505.625	0.758
1.600	398.071	0.668	1.600	437.976	0.808
1.700	346.583	0.709	1.700	378.749	0.859
1.800	302.105	0.751	1.800	327.944	0.909
1.875	273.347	0.782	1.875	295.367	0.947
1.900	264.637	0.793	1.900	285.561	0.960
2.000	234.180	0.835	2.000	251.600	1.010
2.100	210.733	0.876	2.100	226.061	1.061
2.200	194.297	0.918	2.200	208.944	1.111

Tabel 3.5 (Lanjutan) Data perhitungan kalibrasi engine					
2.300	184.871	0.960	2.300	200.249	1.162
2.400	182.455	1.001	2.400	199.976	1.212
2.500	187.050	1.043	2.500	208.125	1.263
2.600	198.655	1.085	2.600	224.696	1.313
2.700	217.271	1.127	2.700	249.689	1.364
2.800	242.897	1.168	2.800	283.104	1.414
2.900	275.533	1.210	2.900	324.941	1.465
3.000	315.180	1.252	3.000	375.200	1.515



Grafik 3.3. Grafik Performa kalibrasi engine.

Dari kalibrasi engine akan dapat ditentukan besar pembebanan yang akan diberikan pada saat melakukan kalibrasi prototype. Titik operasi engine untuk kalibrasi prototipe ditentukan sebagaimana Tabel 3.6.

Tabel 3.6. Beban – beban yang digunakan dalam kalibrasi Prototipee

Kelompok Uji	Putaran Engine	Beban Engine		Beban Genset
NTP - Katalis Tembaga	1900	100%	= 2.5 kW	3.2 kW
		75%	= 1.875 kW	2.4 kW
		50%	= 1.25 kW	1.6 kW
		25%	= 0.625 kW	8 kW
		10%	= 0.25 kW	0.32 kW
NTP - Katalis Besi		100%	= 2.5 kW	3.2 kW
		75%	= 1.875 kW	2.4 kW
		50%	= 1.25 kW	1.6 kW
		25%	= 0.625 kW	8 kW
		10%	= 0.25 kW	0.32 kW
NTP - Katalis Tembaga	2300	100%	= 2.5 kW	3.2 kW
		75%	= 1.875 kW	2.4 kW
		50%	= 1.25 kW	1.6 kW
		25%	= 0.625 kW	8 kW
		10%	= 0.25 kW	0.32 kW
NTP - Katalis Besi		100%	= 2.5 kW	3.2 kW
		75%	= 1.875 kW	2.4 kW
		50%	= 1.25 kW	1.6 kW
		25%	= 0.625 kW	8 kW
		10%	= 0.25 kW	0.32 kW

3.5. Pengujian.

Jenis pengujian yang dilakukan adalah jenis engine test bed dimana motor diesel yang diuji dihubungkan langsung dengan *Genset* yang terhubung dengan bola lampu dengan daya yang telah disetting tertentu sebagaimana rencana percobaan diatas. Pada pengujian ini akan dilakukan 2 variasi putaran untuk setiap kelompok pengujian, pada setiap putaran akan dilakukan variasi sebanyak 4 variasi pembebanan. Jadi nantinya akan didapatkan 20 buah titik sampling dalam pengujian. Adapun beban yang digunakan mengacu pada beban yang telah direncanakan dalam kalibrasi sebelumnya sebagaimana tersaji pada tabel 3.6. dari beban – beban yang direncanakan pada tabel 3.6 tersebut dilakukan

pengukuran NO, NO₂, waktu konsumsi bahan bakar, temperatur gas buang yang merupakan dasar dari perhitungan – perhitungan berikutnya.

Prosedur Pengujian.

Sebelum melakukan pengujian maka dilakukan terlebih dahulu pemeriksaan terhadap instalasi engine dan dynamometer serta pencatatan terhadap temperature udara kamar. Selanjutnya dilakukan prosedur pengujian dengan urutan-urutan sbb. :

1. Motor diesel dihidupkan.
2. Melakukan pemanasan engine selama 15 menit untuk mencapai kondisi operasional.
3. Menaikan putaran engine sesuai dengan putaran yang direncanakan.
4. Memberikan pembebanan terhadap engine dengan cara mengatur bukaan katup secara perlahan-lahan sesuai dengan nilai yang direncanakan.
5. Pada setiap pembebanan pengujian, dilakukan pencatatan data-data sbb. :
 - Putaran motor diesel yang direncanakan.
 - Beban motor diesel yang diuji.
 - Volume bahan bakar.
 - Waktu yang dibutuhkan untuk mengkonsumsi bahan bakar yang direncanakan volumenya.
 - Temperature gas buang.
 - Emisi NO_x.

Setelah pengujian selesai dilakukan dan semua sampling data telah diambil maka motor diesel dimatikan dengan terlebih dulu mengurangi putaran engine sampai kondisi idle.

Perhitungan dan Analisa Data.

Berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian kelompok pengujian kelompok NTP – Katalis Tembaga dan kelompok NTP – Katalis Besi maka akan dapat dilakukan perhitungan terhadap komponen-komponen sbb. :

- Daya efektif.
- Specific fuel oil consumption (SFOC).
- Massa bahan bakar.

- Massa udara.
- Konsentrasi emisi gas NO_x.
- Brake specific NO_x (BS NO_x).

Untuk memudahkan proses penganalisaan maka data hasil pengujian akan direpresentasikan dalam bentuk grafik – grafik perbandingan.

Pintu bahagia tertutup dan yang lain terbuka, tetapi terkadang kita menatap terlalu lama pada pintu yang sudah tertutup itu, sehingga kita tidak melihat pintu lain yang telah terbuka buat kita.



BAB IV

PEMBUATAN PROTOTYPE

BAB IV

PEMBUATAN PROTOTIPE

Sebagaimana penelitian sebelumnya, pembuatan prototipe difokuskan pada katalisnya bukan pada reaktor non-thermal plasmanya, maka dari itu dalam desain untuk Reaktor NTP tidak banyak dilakukan tetapi hanya dilakukan penambahan *flens* pada sisi hisap sebelum masuk terhubung dengan mesin diesel. Adapun desain prototipee untuk keseluruhan sebagaimana berikut dibawah ini.

4.1. Reaktor Non-thermal Plasma (NTP Reactor)

4.1.1. Desain Reaktor.

Struktur reactor non-thermal plasma direncanakan menggunakan struktur *wire-cylinder conductor*. Konduktor direncanakan menggunakan bahan dari tembaga. Kedua konduktor tersebut dihubungkan dengan sumber tegangan tinggi sebesar 15 kV. Sumber tegangan tinggi menggunakan transformator lampu *sign* (lampu reklame), hal ini dikarenakan spesifikasi tegangan keluaran trafo dapat dengan mudah diketahui dari spesifikasi trafo tersebut sehingga tidak perlu lagi melakukan pengukuran tegangan suplai ke reactor, mengingat kapasitas voltmeter konvensional tidak mampu mengukur tegangan sampai skala kilovolt.

Kedua konduktor pada DBD (*Dielectric barrier discharge*) dinamai electrode (anoda dan katoda). Pada permukaan anoda (konduktor kawat tembaga) akan dilapisi dengan bahan dielektrik yang berasal dari bahan *glass* dengan ketebalan 0.5 mm. Bahan glass ini dilapiskan sepanjang kawat tembaga dari prototipe NTP ini. Pada katoda menggunakan pipa tembaga dengan diameter luar 19.05 mm ($\frac{3}{4}$ inch) dengan ketebalan katoda 1 mm. Sedangkan antara permukaan dielektrik dengan permukaan katoda diberi jarak 8 mm untuk membuat lubang guna lewatnya gas buang. Space atau ruang untuk lewatnya gas buang direncanakan berjumlah lima buah, sehingga terdapat lima buah *wire-cylinder conductor* yang dipasang.

Digunakan bahan penyekat (*isolator*) menggunakan material campuran resin dengan semen dengan perbandingan 2 berbanding 1, hal ini dimaksudkan untuk mencegah terjadinya induksi tegangan ke body reactor sebagai bagian dari langkah pengamanan.

Perhitungan Intensitas Medan Listrik.

Mengacu pada persamaan 27 pada bab 2.34, dapat dihitung Intensitas medan listrik untuk gas gap (E_{gas}),

$$E_{\text{gap}} = \frac{\epsilon_{\lambda} \cdot V_{\text{app.}}}{(\epsilon_{\lambda} \cdot d + 2t)} \quad (\text{Yongho dkk, 2003})$$

keterangan :

E_{gap} : Intensitas medan listrik (kV/cm)

ϵ_{λ} : Permittivitas relative barrier (bahan glass = 9.32)

d : Gas gap distance (8 mm)

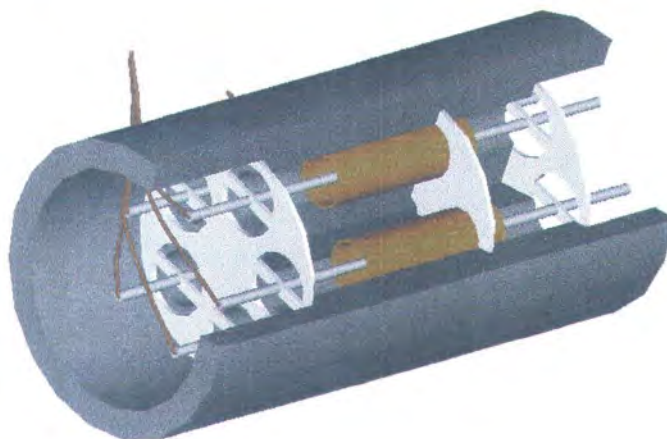
t : Ketebalan glass (1 mm)

$$E_{\text{gap}} = \frac{\epsilon_{\lambda} \cdot V_{\text{app.}}}{(\epsilon_{\lambda} \cdot d + 2t)}$$

$$E_{\text{gap}} = \frac{9.32 \times 15 \text{ kV}}{(9.32 \times 0.8 + 2 \times 0.1)}$$

$$E_{\text{gap}} = 12.912 \text{ kV/cm}$$

4.1.2. Gambar desain Reaktor Non – Thermal Plasma (NTP)



Gambar 4.1. Desain reactor NTP.

Spesifikasi :

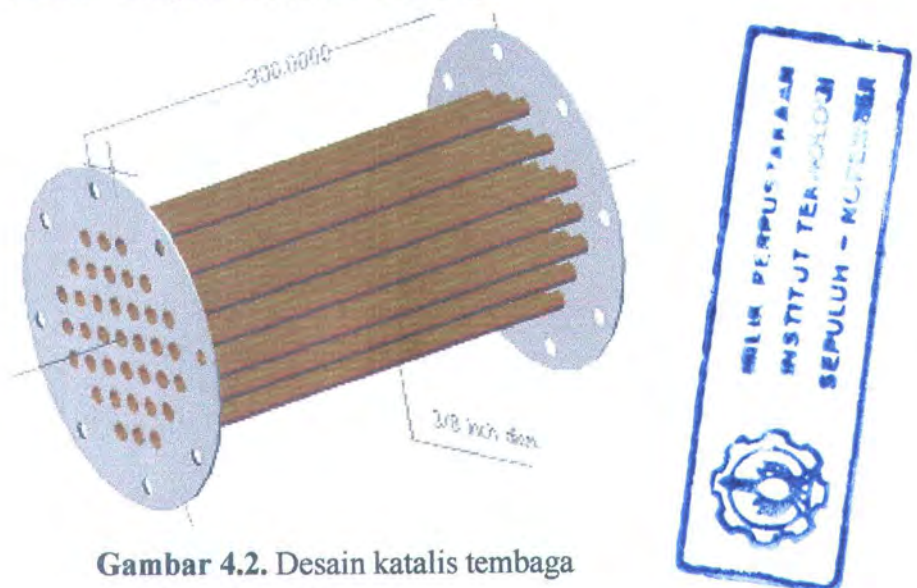
- Konduktor (elektroda)
 - Anoda : Pipa tembaga diam. 3/4 inch, panjang = 60 mm.
 - Katoda : Kawat tembaga dengan luasan penampang 1.5 mm².
- Isolator : Bahan blok resin-semen.
- Dielektrik : Bahan glass, tebal 1 mm.
- Dimensi casing : p = 200 mm, diam. = 100 mm
- Tegangan supply : 15 kV.

4.2. Konverter Katalis Tembaga (*Copper Catalytic Converter*)

4.2.1. Desain *Copper Catalytic Converter*.

Desain katalis tembaga ini berdasarkan penelitian sebelumnya. Adapun struktur dari catalytic converter tembaga menggunakan struktur *parallel passage* dalam hal ini berupa pipa-pipa yang dipasang secara sejajar pada sebuah muffler berbentuk silinder. Pipa tembaga yang digunakan berdiameter 3/8 inchi dengan panjang pipa 30 cm. Jumlah pipa yang dipasang berjumlah 37 buah dengan jarak antarpusat pipa sejauh 2 cm. Diameter casing *catalytic converter* sebesar 15 cm. (Muskhaf,2005).

4.2.2. Gambar Desain *Catalytic Converter* Tembaga.



Gambar 4.2. Desain katalis tembaga

Spesifikasi :

- Katalis :Pipa tembaga diameter 3/8 inch.
Panjang 300 mm
Jumlah pipa 38 buah.
Jarak antarpipa 20 mm.
- Casing :Bahan baja diameter 150 mm.
Panjang 300 mm.
Diameter flens 214 mm.

4.3. Konverter Katalis Besi (*Iron Catalytic Converter*)

4.3.1. Desain *Iron Catalytic Converter*.

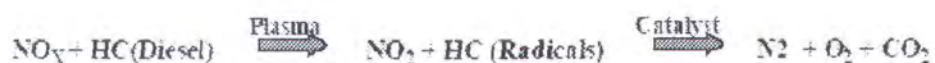
Sebagaimana struktur dari *catalytic converter* tembaga yang telah dibuat, pada *Iron Catalytic Converter* ini juga menggunakan struktur *parallel passage* yang berupa pipa-pipa yang dipasang secara sejajar pada sebuah muffler berbentuk silinder. Pipa besi yang digunakan adalah pipa besi 1/8 standard ASA schedule 40, diameter dalam 6 mm dengan panjang pipa 30 cm. Jumlah pipa yang dipasang berjumlah 37 buah. Jarak antarpusat pipa sejauh 2 cm.

Pada kedua ujung pipa – pipa besi tersebut diikat oleh dua buah pelat baja (*flens*) yang dipasang saling berhadapan dengan diameter 214 mm. Diameter *casing catalytic converter* sebesar 150 mm.

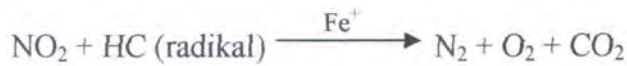
4.3.2. Perhitungan kekuatan pengonversian *Catalytic Converter*.

Catalytic converter terdiri atas substrat yang memberikan kekuatan pada struktur dan kestabilan, *washcoat* yang menyediakan lapisan permukaan yang luas, dan *active phase* yang memungkinkan terjadinya reaksi heterogen. Proses katalisis terjadi pada permukaan katalis, oleh karena itulah permukaan katalis dibuat seluas-luasnya untuk menyediakan tempat berlangsungnya reaksi.

Reaksi kimia yang terjadi dalam proses NTP - katalisis dapat di rumuskan sebagai berikut:



Sedangkan Reaksi kimia yang terjadi dalam proses katalisis dapat di rumuskan sebagai berikut:



Adapun dalam perhitungan keseluruhan proses reaksi katalisis, dapat dilakukan dalam 7 tahapan sebagaimana berikut :

1. *Mole Balance (kesetimbangan mol)*

Kesetimbangan A pada permukaan katalis

$$\begin{array}{l} \text{IN} \qquad \text{OUT} \\ \text{By Flow} \quad \text{By Flow} \quad + \text{Generation} = \text{Accumulation} \\ F_{A|V} - F_{A|V+\Delta V} + r_A \Delta V = 0 \end{array}$$

Pemisahan oleh ΔV dan pemberian batasan sebagai $\Delta V \longrightarrow 0$ (diberikan)

$$\frac{dF_B}{dV} = r_A$$

Kesetimbangan B pada permukaan katalis

$$\begin{array}{l} \text{IN} \qquad \text{OUT} \qquad \text{OUT} \\ \text{By Flow} \quad \text{By Flow} \quad \text{By Diffusion} \quad + \text{Generation} = \text{Accumulation} \\ F_{A|V} - F_{A|V+\Delta V} - R_B \Delta V + r_A \Delta V = 0 \end{array}$$

Dimana R_B adalah aliran molar B yang dikeluarkan keluar membran per unit volume reactor.

Pemisahan oleh ΔV dan pemberian batasan sebagai $\Delta V \longrightarrow 0$ (diberikan)

$$\frac{dF_B}{dV} = r_B - R_B$$

2. *Rate Law (Hukum rata – rata laju Aliran)*

$$-r_A = k \left[C_A - \frac{C_B C_C}{K_c} \right]$$

$$r_B = -r_A$$

$$r_C = -r_A$$

3. *Transport out the sides of the reactor*

$$R_B = k_c C_B$$

Dimana k_c adalah koefisien transport

4. *Stoichiometry*

$$v = v_0 \frac{F_T}{F_{T0}} = v_0 \frac{F_T + F_B + F_C}{F_{A0}}$$

$$F_C = F_{A0} - F_A$$

Akan bergabung menjadi,

$$v = v_0 \left(1 + \frac{F_B}{F_{A0}} \right)$$

Sekarang dapat kita tulis konsentrasi total rata – rata aliran molar sebagai berikut :

$$C_A = \frac{F_A}{v} = \frac{F_A}{v_0 \left(1 + \frac{F_B}{F_{A0}} \right)}, C_B = \frac{F_B}{v}, C_C = \frac{F_C}{v}$$

5. *Combining (penggabungan kembali)*

Setelah mengalami pemecahan molar, unsure – unsure kimia tersebut akan bergabung kembali menuju keadaan paling stabil dan akan menjadi senyawa baru. Adapun untuk rumusan hukum rata – rata laju aliran akan berubah menjadi,

$$-r_A = \frac{k}{v} \left[F_A - \frac{F_B F_C}{v K_c} \right] = \frac{k}{v} \left[F_A - \frac{F_B [F_{A0} - F_A]}{v K_c} \right]$$

6. *Parameter evaluation*

$$k = 0.7 \text{ min}^{-1}, K_c = 0.05 \text{ mol/dm}^3, k_c = 0.2 \text{ min}^{-1}$$

$$F_{A0} = 10 \text{ mol/min}$$

$$F_{B0} = F_{C0} = 0$$

$$v_0 = \frac{F_{A0}}{C_{A0}} = \frac{F_{A0}}{\frac{P_{A0}}{RT_0}} = \frac{F_{A0} RT_0}{P_{A0}}$$

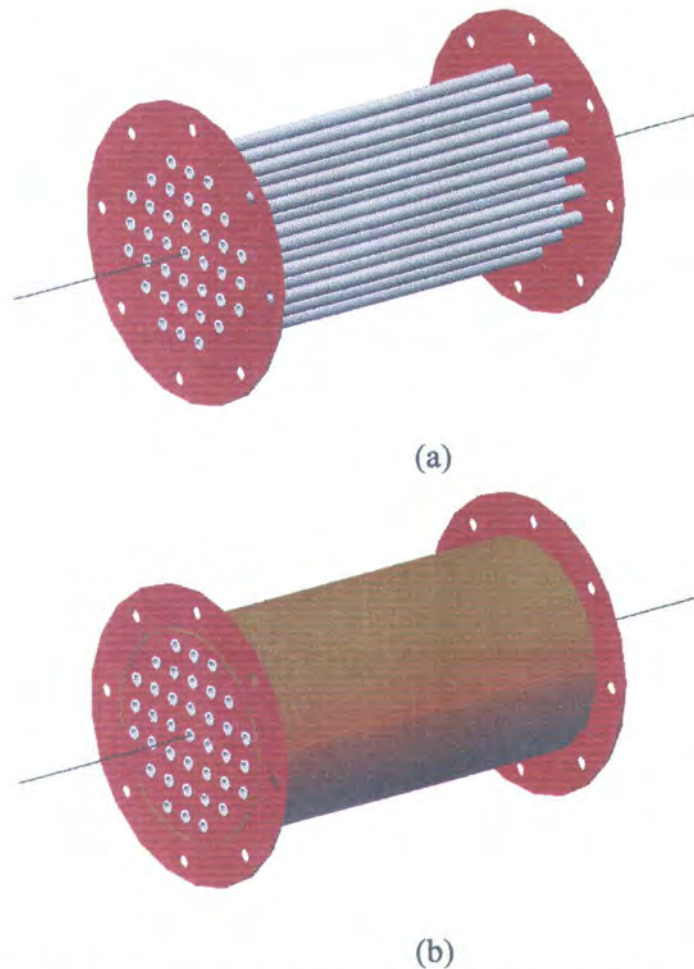
$$= \frac{10(\text{mol/min})(0.082 \text{ atm} \cdot \text{dm}^3/\text{mol} \cdot \text{K})(500\text{K})}{8.2 \text{ atm}}$$

$$= 50 \text{ dm}^3/\text{min}$$

$$v_0 K_c = 2.5 \text{ mol/min}$$

4.3.3. Gambar Desain *Catalytic Converter* Besi.

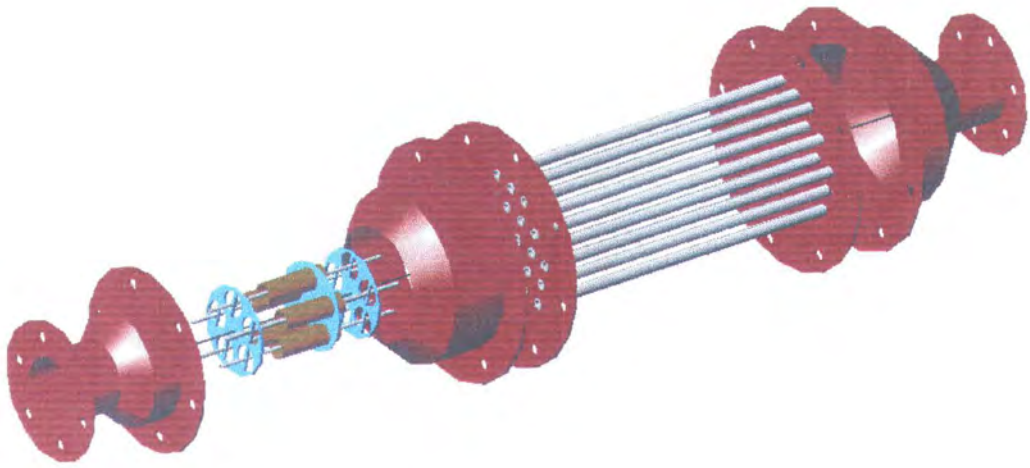
Gambaran umum prototype catalytic converter besi yang direncanakan adalah sebagai berikut :



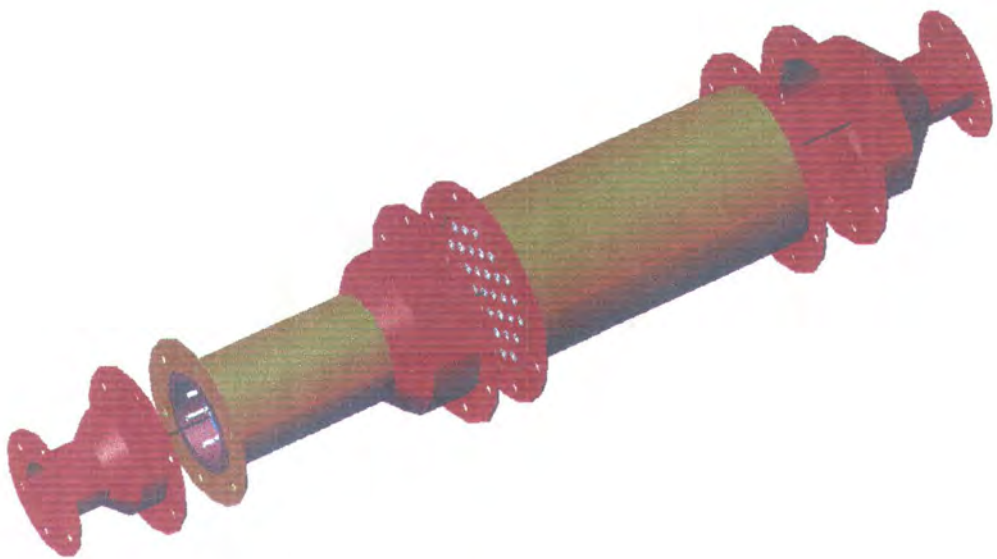
Gambar 4.3. Desain Katalis Besi; (a) tanpa casing, (b) dengan casing

Spesifikasi :

- Katalis :
 - Pipa besi ASA standard 1/8 inch schedule 40
 - diameter dalam 6 mm. ketebalan 2 mm
 - Panjang 300 mm
 - Jumlah pipa 37 buah.
 - Jarak antarpipa 20 mm.
- Casing :
 - Bahan baja diameter 150 mm.
 - Panjang 300 mm.
 - Diameter flens 214 mm.



(a)



(b)

Gambar 4.4. Desain prototipe NTP-Katalis Besi, (a) prototipe tanpa casing, (b) prototipe lengkap dengan casing.

4.3.Foto Prototipe

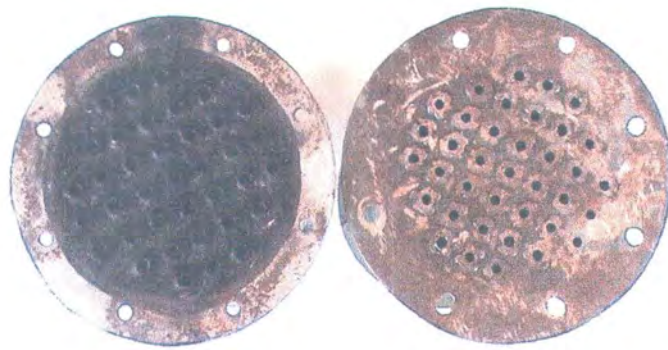


(a)



(b)

Gambar 4.5. Foto prototipe Reaktor NTP lengkap dengan trafo; (a) NTP lama, (b) NTP baru.



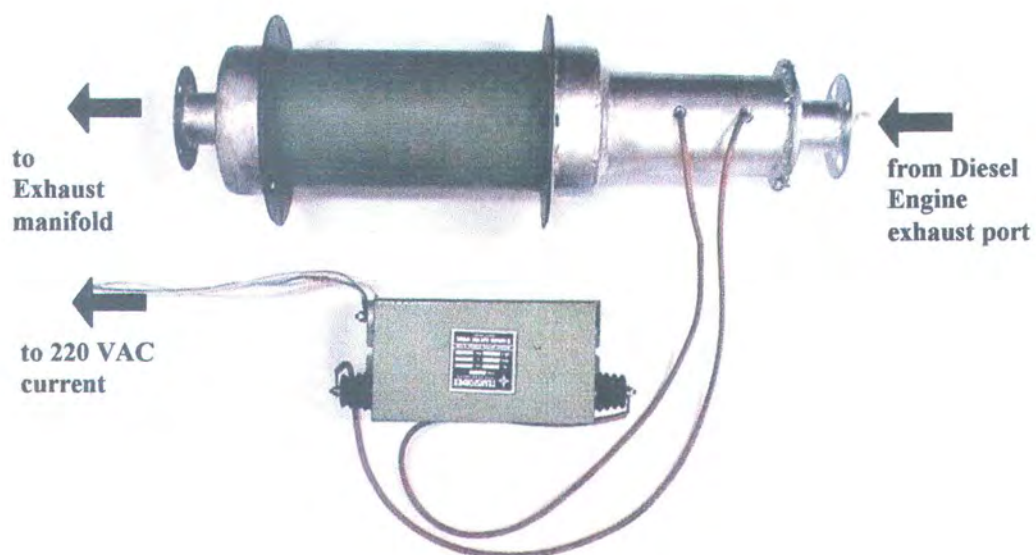
Gambar 4.6. Foto prototipe tampak atas. Dari kiri ke kanan; katalis tembaga dan katalis besi.



Katalis tembaga

Katalis Besi

Gambar 4.7. Foto prototipe tampak samping. Dari kiri ke kanan; katalis tembaga dan katalis besi.



Gambar 4.8. Foto prototipe NTP – Katalis Besi lengkap

It isn't that they Can't see the solution. It is that they Can't see the problem
(G.K. Chesterton)



BAB V

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

BAB V

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada analisa data dan pembahasan ini akan dijabarkan hasil dan analisa dari pengujian yang telah dilakukan. Diawali dengan menunjukkan hasil mentah dari percobaan dilanjutkan dengan hasil perhitungan dan kemudian dituangkan dalam grafik – grafik yang menjadi dasar untuk pembahasan.

5.1. Data dan Pengolahan Hasil Pengujian.

Hasil pengujian laboratorium yang dilakukan pada pengujian mesin diesel DONGFENG, didapatkan nilai – nilai pengamatan sebagaimana tabel 5.1, 5.2, dan 5.3 sedangkan hasil pengolahan data dan pengamatan grafik, sebagaimana terlihat dalam tabel 5.4. Sedangkan prosentase kenaikan ataupun penurunan yang dihasilkan dalam pengujian tersaji dalam tabel 5.5.

Pengamatan grafik digunakan untuk menentukan titik operasi optimum atau maksimum dari SFOC dan efisiensi efektif engine.

Tabel 5.1. Hasil pengambilan data pengujian standard

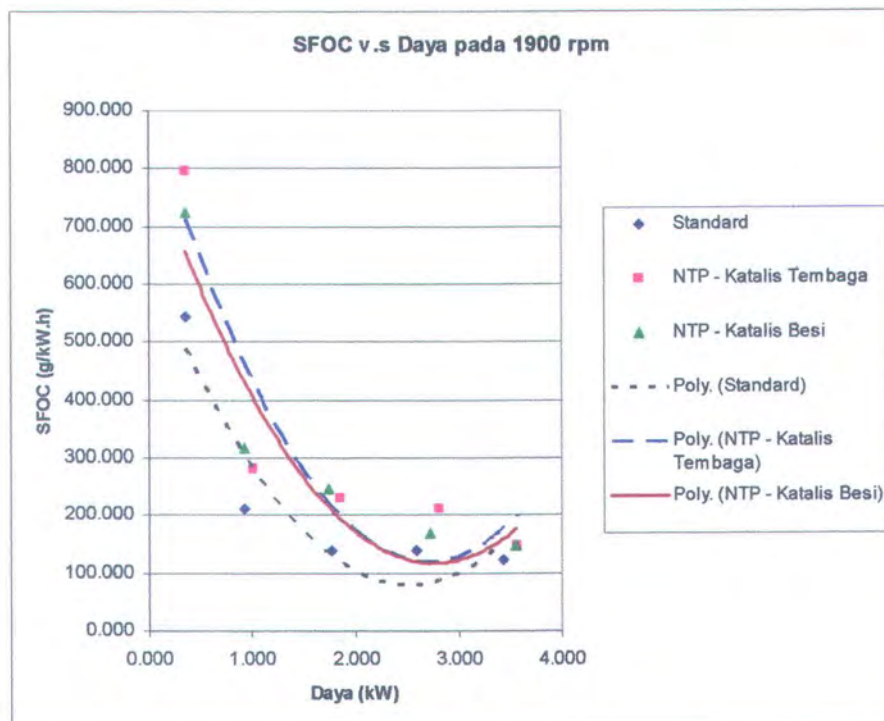
RPM		RPM genset	Beban		Teg.	Arus	t B.B	Vol B.B	pBB	(Nox)
			(%)	(W)	(Volt)	(Amp)	(sec)	(m3)	(Kg/m3)	(ppm)
Maximum torque speed	1900	1500	10	320	222	1.1	306	0.00002	830	10.773
	1900	1500	25	800	215	2.9	307	0.00002	830	16.499
	1900	1500	50	1600	218	5.5	244	0.00002	830	22.679
	1900	1500	75	2400	212	8.3	166	0.00002	830	23.784
	1900	1500	100	3200	212	11	142	0.00002	830	25.201
Rated Power Speed	2300	1500	10	320	224	1.2	339	0.00002	830	9.120
	2300	1500	25	800	226	3	243	0.00002	830	12.200
	2300	1500	50	1600	230	5.7	187	0.00002	830	11.896
	2300	1500	75	2400	218	8.3	181	0.00002	830	13.007
	2300	1500	100	3200	218	11.1	121	0.00002	830	19.515

Tabel 5.2. Hasil pengambilan data pengujian NTP – Katalis Tembaga (NTPKT)

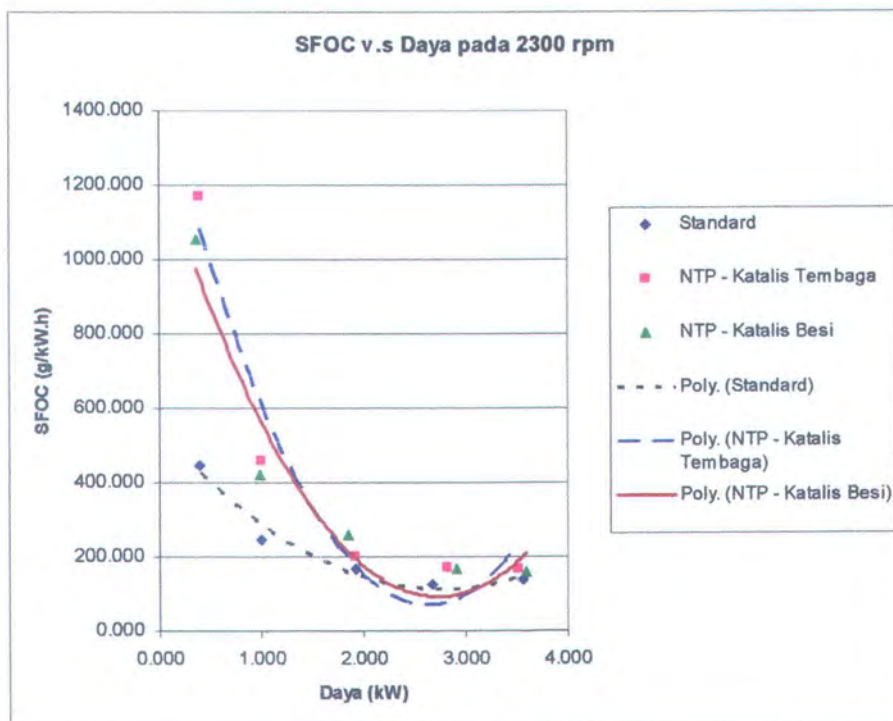
RPM		RPM	Beban		Teg.	Arus	t B.B	Vol B.B	pBB	(Nox)
		genset	(%)	(W)	(Volt)	(Amp)	(sec)	(m3)	(Kg/m3)	(ppm)
Maximum Torque Speed	1900	1500	10	320	223	1.1	208	0.00002	830	22.81
	1900	1500	25	800	228	3	212	0.00002	830	22.44
	1900	1500	50	1600	230	5.5	140	0.00002	830	25.05
	1900	1500	75	2400	225	8.5	100	0.00002	830	25.05
	1900	1500	100	3200	221	11	114	0.00002	830	19.45
Rated Power Speed	2300	1500	10	320	224	1.2	129	0.00002	830	15.72
	2300	1500	25	800	226	3	131	0.00002	830	18.71
	2300	1500	50	1600	230	5.7	156	0.00002	830	15.35
	2300	1500	75	2400	223	8.6	123	0.00002	830	13.48
	2300	1500	100	3200	215	11.1	102	0.00002	830	10.51

Tabel 5.3. Hasil pengambilan data pengujian NTP – Katalis Besi (NTPKB)

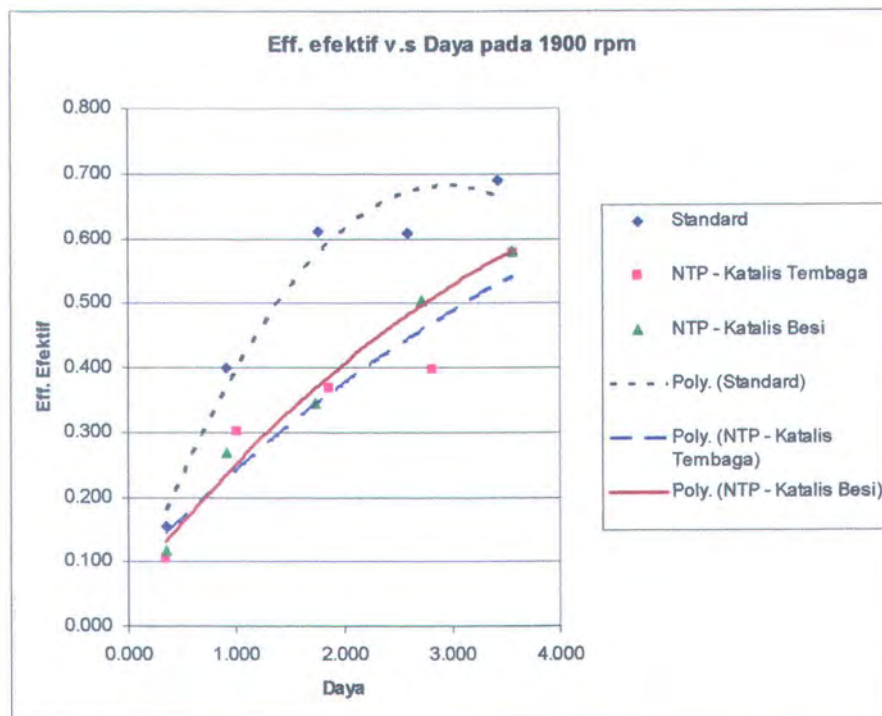
RPM		RPM	Beban		Teg.	Arus	t B.B	Vol B.B	pBB	(Nox)
		genset	(%)	(W)	(Volt)	(Amp)	(sec)	(m3)	(Kg/m3)	(ppm)
Maximum Torque Speed	1900	1500	10	320	222	1.1	230	0.00002	830	18.61
	1900	1500	25	800	215	2.9	207	0.00002	830	30.28
	1900	1500	50	1600	215	5.5	140	0.00002	830	23.93
	1900	1500	75	2400	218	8.5	130	0.00002	830	22.44
	1900	1500	100	3200	220	11	115	0.00002	830	19.83
Rated Power Speed	2300	1500	10	320	223	1.1	157	0.00002	830	15.72
	2300	1500	25	800	223	3	144	0.00002	830	19.83
	2300	1500	50	1600	225	5.6	125	0.00002	830	17.96
	2300	1500	75	2400	225	8.8	122	0.00002	830	23.56
	2300	1500	100	3200	220	11.1	105	0.00002	830	23.56



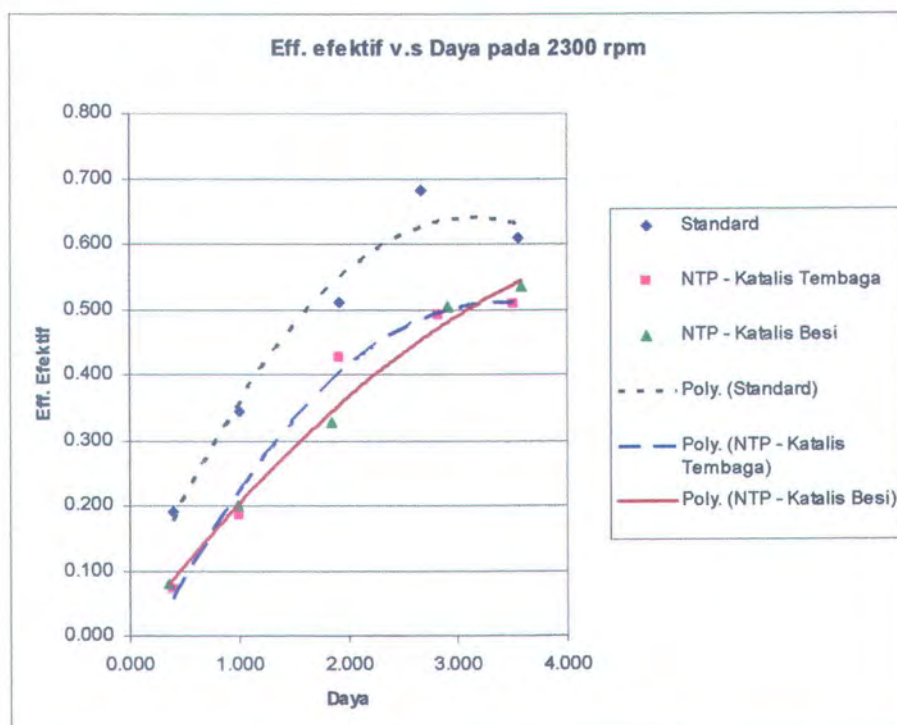
Grafik 5.1. SFOC vs Daya pada variasi perlakuan pengujian 1900 rpm



Grafik 5.2. SFOC vs Daya pada variasi perlakuan pengujian 2300 rpm



Grafik 5.3. Effisiensi efektif vs Daya pada variasi perlakuan pengujian 1900 rpm



Grafik 5.4. Effisiensi efektif vs Daya pada variasi perlakuan pengujian 2300 rpm

Tabel 5.4. Hasil pengolahan data dan pengamatan grafik

RPM 1900						
No.	Perlakuan	Daya (kW)	Torsi (kg.m)	SFOC (g/kWh)	EFF.	NOx (g/kWh)
1	Standard	3	1.732	100.2	0.68	2.399
2	NTPKT	3.2	1.806	145.9	0.507	3.518
3	NTPKB	3.4	1.798	154.9	0.566	3.487
RPM 2300						
No.	Perlakuan	Daya (kW)	Torsi (kg.m)	SFOC (g/kWh)	EFF.	NOx (g/kWh)
1	Standard	3.4	1.48	134.2	0.637	1.945
2	NTPKT	3.2	1.806	135.1	0.509	2.791
3	NTPKB	3.4	1.499	161.5	0.528	3.309

Tabel 5.5. Prosentase Hasil Pengolahan data dan pengamatan grafik

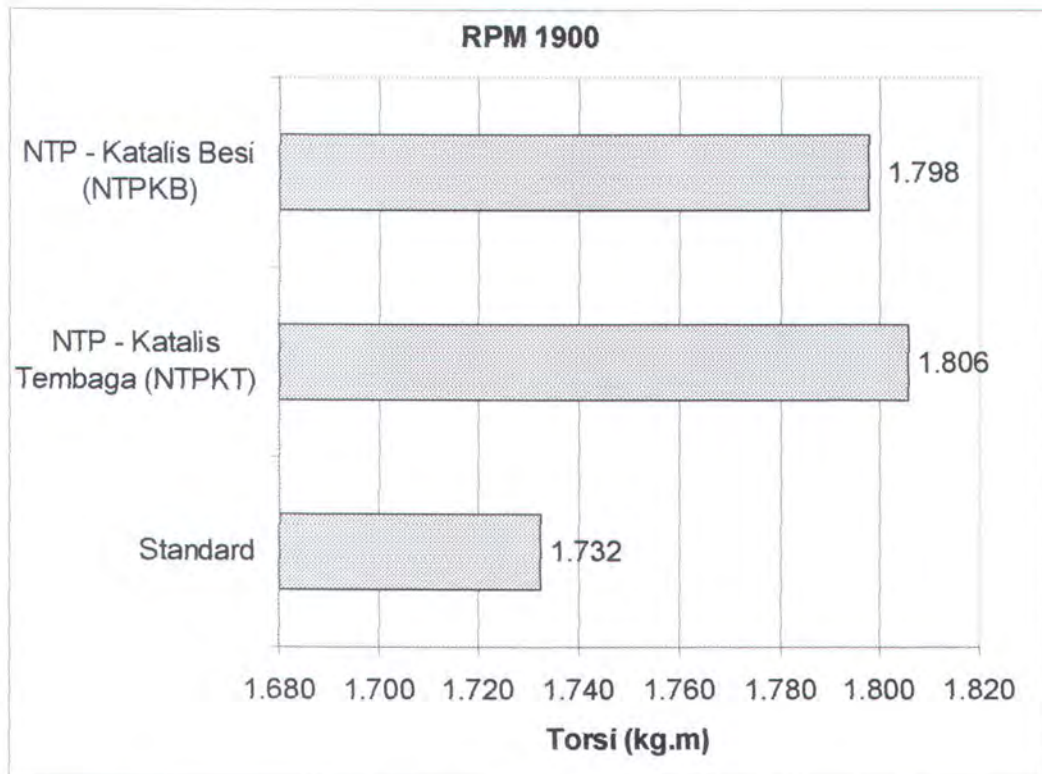
RPM 1900						
No.	Perlakuan	SFOC	NOx	Daya	Torsi	Eff.
		%	%	%	%	%
1	Standard	0.00	0%	0.00	0.00	0.00
2	NTPKT	31.32	32%	6.25	4.07	-34.41
3	NTPKB	35.28	31%	11.76	3.64	-20.33
RPM 2300						
No.	Perlakuan	SFOC	NOx	Daya	Torsi	Eff.
		%	%	%	%	%
1	Standard	0.00	0%	0.00	0.00	0.00
2	NTPKT	0.61	30%	-6.25	17.77	-24.93
3	NTPKB	16.86	41%	0.00	0.91	-20.50

5.2 PEMBAHASAN PENGUJIAN PROTOTIPE.

Pada pembahasan pengujian prototipe ini akan dipaparkan pengaruh – pengaruh yang terjadi pada saat penganalisaan grafik dan hasil pengolahan data percobaan. Adapun pengaruh yang ingin dibahas pada subbab ini adalah torsi maksimum, daya maksimum, SFOC, efisiensi efektif, dan perubahan NOx terhadap perlakuan percobaan prototipe.

5.2.1 Pengaruh penggunaan prototipe NTP - Katalis terhadap Kenaikan Torsi Maksimum

Pada grafik 5.5 memperlihatkan hubungan antara perlakuan terhadap torsi maksimum engine. Diketahui bahwa dengan pemasangan sistem NTP – Katalis dapat menaikkan torsi maksimum dari engine. Tanpa penggunaan sistem NTP – Katalis torsi maksimum engine dicapai hingga 1.732 kg.m sementara dengan diterapkannya teknologi NTP – katalis, torsi maksimum mengalami peningkatan 4.07 % (1.806 kg.m) untuk NTPKT dan 3.46 % (1.798) untuk NTPKB. Keadaan ini menunjukkan bahwa dengan penerapan sistem NTP – Katalis, engine akan cenderung lebih baik dalam menghasilkan dan melayani kondisi – kondisi service yang membutuhkan torsi – torsi maksimum karena penambahan NTP – katalis dapat menaikkan torsi maksimumnya.



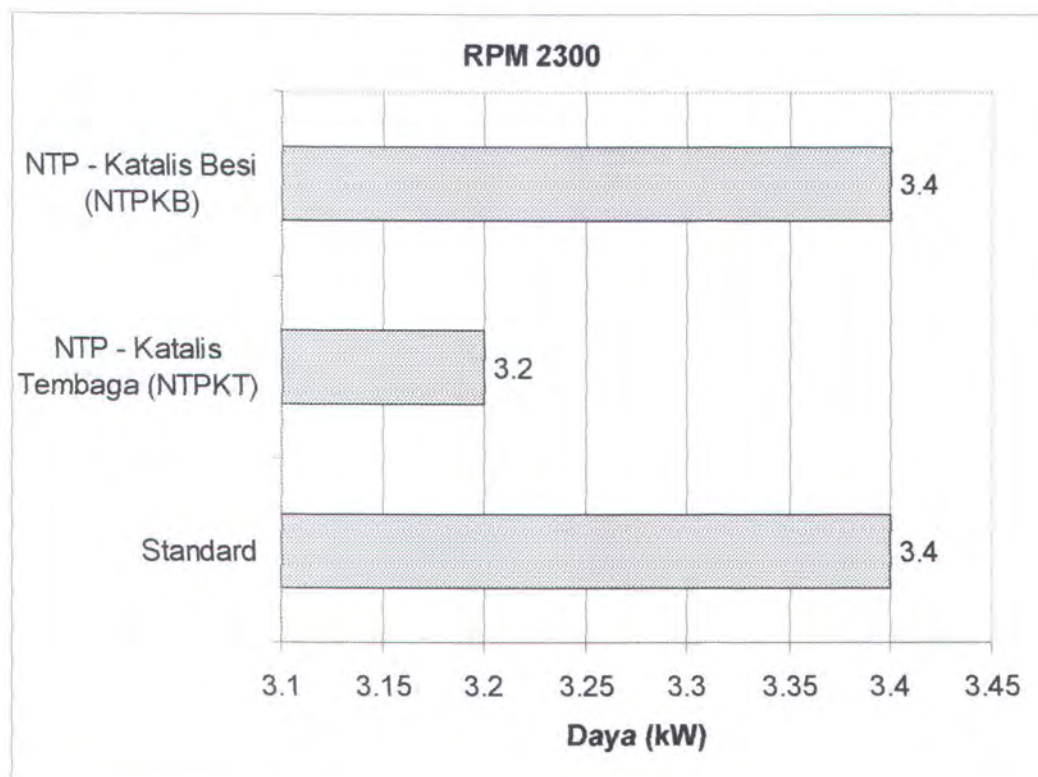
Grafik 5.5. Perlakuan Standard, NTPKT, NTPKB terhadap Torsi Maksimum pada 1900 rpm

5.2.2 Pengaruh penggunaan prototipe NTP - Katalis terhadap Kenaikan Daya Maksimum

Penerapan – penerapan teknologi penurunan emisi cenderung mengarah pada turunnya performa engine. Daya engine yang telah disetting oleh engine manufacture memiliki kemampuan maksimum tertentu, karena adanya pemasangan alat atau sistem penurun emisi menyebabkan adanya penurunan daya. Sistem yang dapat meminimalkan adanya penurunan daya adalah after treatment dari engine. Meskipun juga menghasilkan penurunan daya, oleh karena bahan yang kurang sesuai, tetapi *aftertreatment* dirasa paling minim dalam mempengaruhi penurunan dayanya.

Grafik 5.6 memperlihatkan hubungan antara perlakuan percobaan terhadap daya maksimum yang dapat dicapai oleh engine. Terlihat bahwa pada pengujian NTP – Katalis Tembaga (NTPKT), daya engine memang mengalami penurunan

daya maksimum hingga 6.25% (3.2 kW) dari kondisi standardnya (3.4 kW). Akan tetapi dengan penerapan NTP – Katalis Besi (NTPKB), penurunan daya maksimum dapat dapat dipertahankan sama dengan kondisi standardnya (3.4 kW). Hal ini menunjukkan bahwa pemakaian katalis besi efektif dalam mempertahankan kondisi daya maksimum dari engine dalam kaitannya dengan penerapan sistem penurunan emisi NOx pada diesel engine.



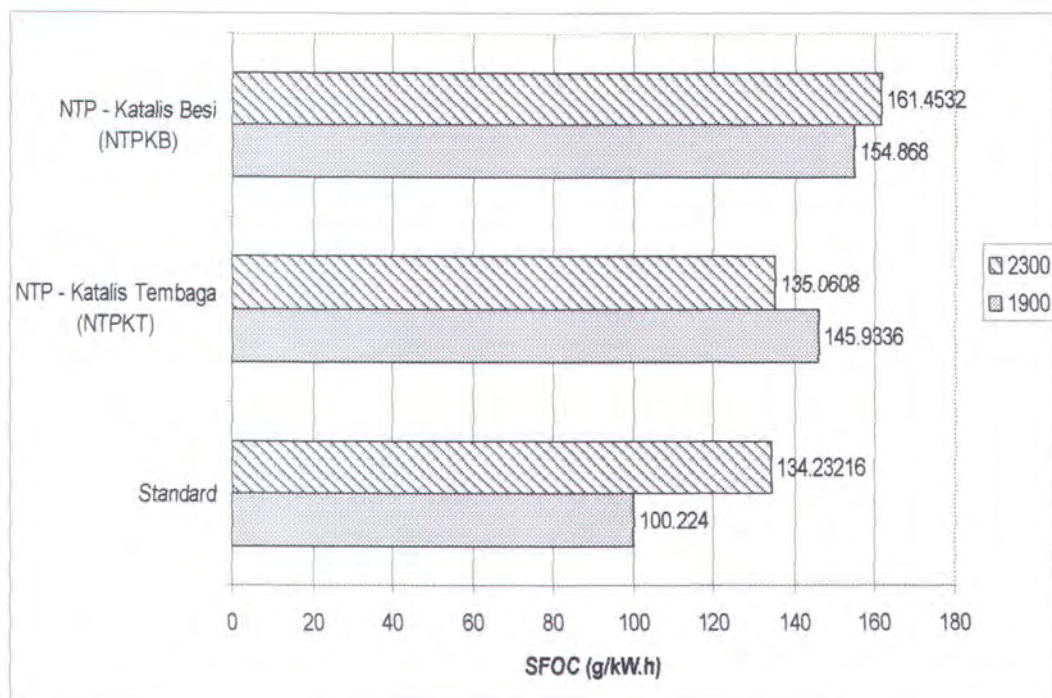
Grafik 5.6. Perlakuan Standard, NTPKT, NTPKB terhadap Daya Maksimum pada 2300 rpm

5.2.3 Pengaruh penggunaan prototipe NTP - Katalis terhadap Perubahan nilai SFOC

Salah satu faktor penting dari pengujian perfoma engine adalah konsumsi spesifik bahan bakar yang dibutuhkan engine (*Specific Fuel Oil Consumption ; SFOC*). SFOC ini mempengaruhi tingkat ekonomis dari suatu diesel engine. Engine dikatakan ekonomis salah satunya adalah apabila dengan hasil daya yang

sama dibutuhkan SFOC yang lebih sedikit. Pada penerapan sistem NTP – Katalis, SFOC memang mengalami kenaikan dari kondisi standardnya.

Grafik 5.7 memperlihatkan hubungan antara perlakuan percobaan terhadap konsumsi bahan bakar optimumnya. Pada pemakaian NTPKT, untuk pengujian torsi maksimum, SFOC meningkat hingga 31.32 % (145.9 g/kWh) dari kondisi standardnya (100.2 g/kWh) sedangkan untuk pengujian daya maksimum, SFOC meningkat 0.61% (135.1 g/kWh) dari kondisi standardnya (134.2 g/kWh). Sedangkan pada pemakaian NTPKB, untuk pengujian torsi maksimum, SFOC meningkat hingga 35.28% (154.9 g/kWh) dari standard dan untuk pengujian daya maksimum, SFOC meningkat hingga 16.9% (161.5 g/kWh).



Grafik 5.7. Perlakuan Standard, NTPKT, NTPKB terhadap SFOC

Kenaikan tajam SFOC pada pengujian torsi maksimum sistem NTP – Katalis dikarenakan engine mengalami pembebanan yang tinggi dengan putaran tetap sehingga membutuhkan torsi yang tinggi pula. Kebutuhan torsi yang tinggi ini mempengaruhi kenaikan SFOC yang tajam dibanding saat pengujian daya

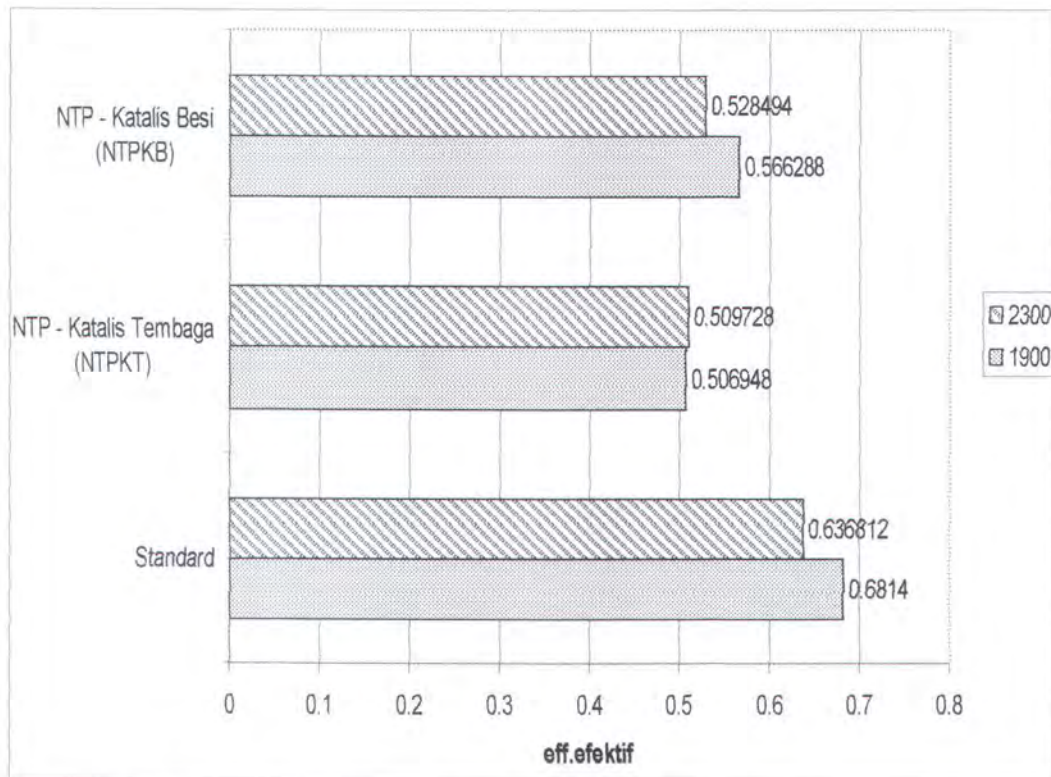
maksimum. Pengaruh lain yang mungkin berhubungan adalah adanya *back pressure* dari gas buang yang mempengaruhi proses pembakaran.

Terlihat juga dari grafik bahwa pemakaian NTPKB cenderung mengkonsumsi bahan bakar lebih banyak dari pada pemakaian NTPKT. Kemungkinan ini dikarenakan oleh konstruksi dari katalis yang tidak persis sama, katalis tembaga memiliki diameter yang lebih besar daripada katalis besi. Hal ini menyebabkan *back pressure* yang diterima engine juga berbeda dan yang lebih kuat *back pressure* yang terjadi tentunya yang memiliki diameter kecil yaitu katalis besi.

5.2.4 Pengaruh penggunaan prototipe NTP - Katalis terhadap Kenaikan Effisiensi Efektif

Factor lain yang mempengaruhi performa engine adalah efisiensi efektifnya. Suatu diesel engine dikatakan bagus apabila efisiensi efektifnya mencapai angka 1 (*ideal condition*). Kondisi ideal ini tidak mungkin terjadi karena adanya factor – factor kondisi yang mempengaruhinya sehingga yang paling mendekati angka ideal tersebut yang menjadi tujuan dilakukannya penelitian.

Penerapan teknologi after treatment cenderung menurunkan efisiensi efektif dari diesel engine karena adanya hambatan gas buang yang akan keluar yang telah diset oleh engine manufacture. Grafik 5.8 memperlihatkan hubungan perlakuan terhadap efisiensi yang terjadi pada diesel engine. Pada grafik tersebut terlihat bahwa NTP – katalis memang menurunkan efisiensi efektif dari engine. Akan tetapi pada penerapan NTPKB 14% (torsi maksimum) dan 4.4% (daya maksimum) lebih baik efisiensi efektifnya daripada penerapan NTPKT. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan katalis besi lebih efektif digunakan untuk mereduksi NOx daripada katalis tembaga, mengingat pada NTPKB, daya maksimum lebih bagus, torsi maksimumnya hampir sama dengan penggunaan NTPKT ditambah lagi efisiensi efektif yang lebih baik. Kekurangan penggunaan katalis besi hanya mengarah pada konsumsi bahan bakar yang relatif lebih tinggi dari penggunaan katalis tembaga.

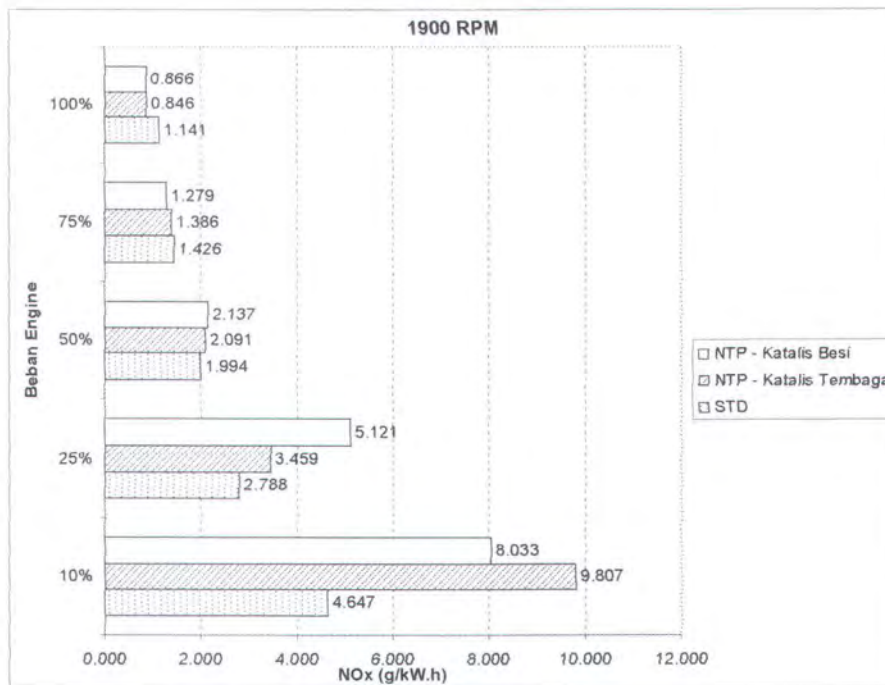


Grafik 5.8. Perlakuan Standard, NTPKT, NTPKB terhadap Efisiensi efektif

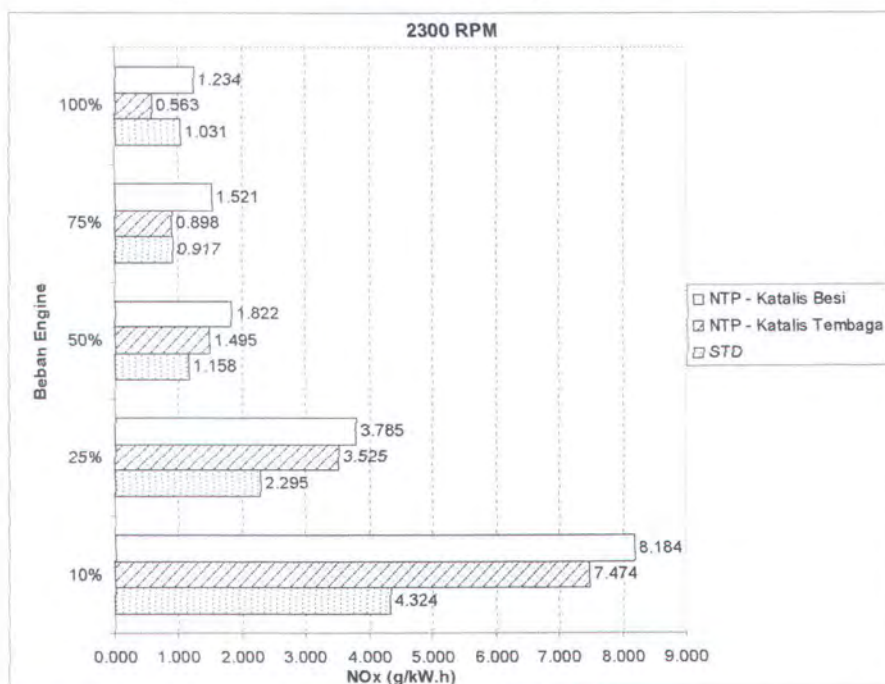
5.2.5 Pengaruh penggunaan prototipe NTP - Katalis terhadap tingkat Penurunan NOx

Secara teoritis, pengujian emisi engine yang mengacu pada ISO 8178 ini, penggunaan beban operasi terbesar pada beban operasi 75% sehingga pengamatan utama penurunan NOx juga pada beban ini.

Grafik 5.9 dan 5.10 menunjukkan efek dari putaran percobaan dengan acuan ISO 8178 terhadap nilai *weighted brake specific emission* NOx untuk pengujian torsi maksimum dan daya maksimum. pada pengujian torsi maksimum, untuk kisaran beban engine 75% - 100%, NTPKB bekerja dengan baik dalam mereduksi NOx daripada standard dan NTPKT. Sedangkan pada pengujian daya maksimum, NTPKB justru kurang bagus dalam mereduksi NOx daripada standard dan NTPKT.

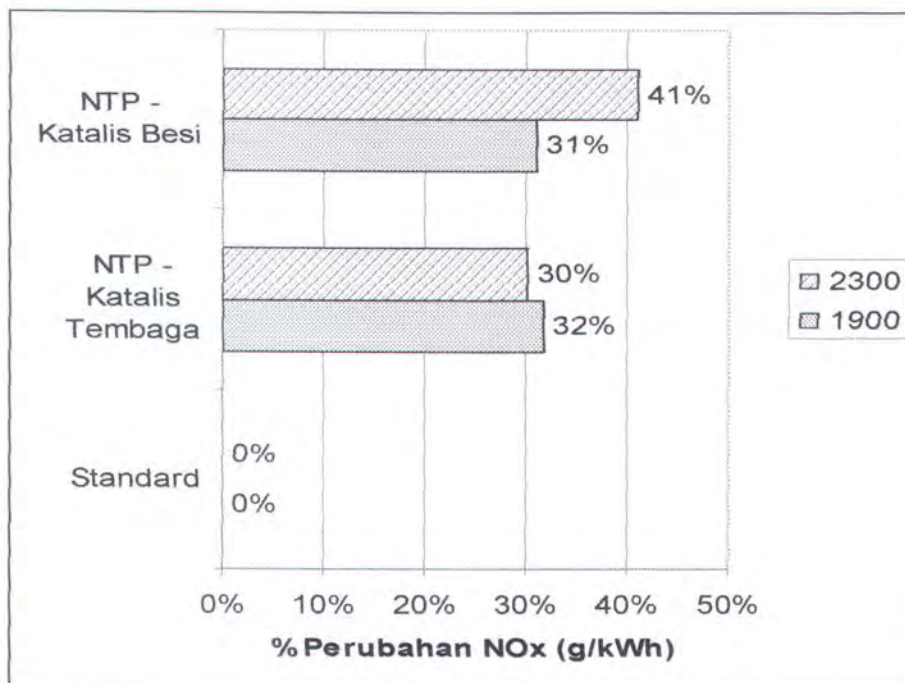


Grafik 5.9. Efek test cycle terhadap Nilai Weighted Brake Specific Emission pada variasi perlakuan pengujian 1900 rpm



Grafik 5.10. Efek test cycle terhadap Nilai Weighted Brake Specific Emission pada variasi perlakuan pengujian 2300 rpm

Untuk rata – rata emisi NOx yang terjadi, sebagaimana terlihat pada grafik 5.11, emisi yang dihasilkan pada standard lebih kecil dari pada dengan dipasang sistem NTP – Katalis. Hal ini lebih besar disebabkan karena pemakaian engine yang kurang sesuai dengan dimensi prototipe sistem NTP – katalis. Kemungkinannya adalah daya engine yang dipakai untuk pengujian kurang besar agar katalis bisa beroperasi maksimal, atau desain prototipe yang kurang kecil/ kurang besar sehingga tidak mampu mereduksi gas buang yang keluar dari hasil pembakaran engine.



Grafik 5.11. Prosentase perubahan tingkat emisi NOx dengan acuan kondisi Standard

Pada pengujian torsi maksimum, katalis besi lebih efektif bekerja dalam mereduksi NOx daripada katalis tembaga meskipun selisihnya sangat kecil sekitar 1%. Hal ini membuktikan bahwa besi memang bisa digunakan sebagai katalis guna mereduksi emisi NOx. Akan tetapi pada pengujian daya maksimum, besi cenderung lebih buruk dalam mereduksi emisi NOx sekitar 11% lebih tinggi kenaikannya dibanding katalis tembaga. Kondisi yang bertolak belakang ini

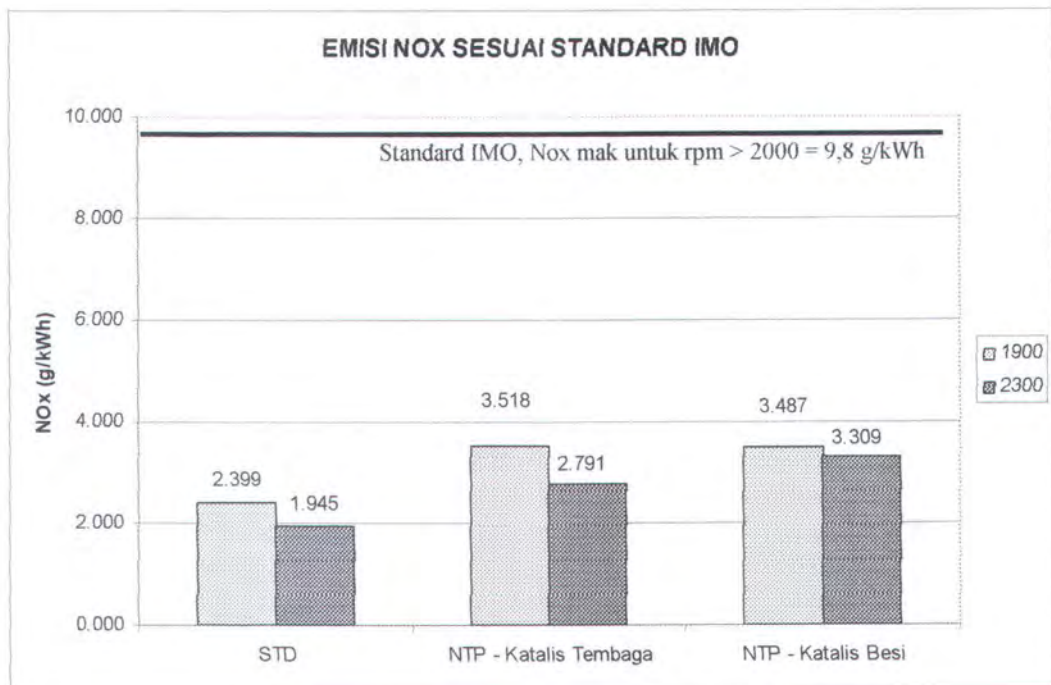
lebih disebabkan karena pada pengujian daya maksimum besi belum mencapai titik operasinya mengingat titik lebur besi yang lebih tinggi dari titik lebur tembaga sehingga untuk pemakaian daya maksimum besi sebagai katalis belum memperlihatkan kerjanya sebagai pereduksi NOx.

Mengacu pada regulasi yang dikeluarkan oleh *International Maritime Organization (IMO)* dalam MARPOL ANNEX VI tentang polusi udara khususnya untuk NOx. IMO memberikan standard emisi NOx untuk engine dengan putaran 2000 rpm keatas adalah sebesar 9.8 g/kWh. Secara jelas regulasi yang ditetapkan tersebut ditunjukkan oleh tabel 5.6.

Table 5.6. MARPOL Annex VI NOx Emission Limits

Engine Speed (n, rpm)	NOx, g/kWh
$n < 130 \text{ rpm}$	17.0
$130 \text{ rpm} \leq n < 2000 \text{ rpm}$	$45 \cdot n^{-0.2}$
$n \geq 2000 \text{ rpm}$	9.8

Pada pengujian NOx dengan penerapan NTP – Katalis ini, NOx yang dihasilkan oleh engine masih jauh dibawah regulasi yang ada. Pada kondisi standard menghasilkan rata – rata emisi NOx sebesar 2.29 g/kWh (pengujian torsi maksimum) dan 1.95 g/kWh (pengujian daya maksimum); NTPKT menghasilkan rata – rata emisi NOx sebesar 3.52 g/kWh (kenaikan 32% pengujian torsi maksimum) dan 2.79 g/kWh (kenaikan 30% pengujian daya maksimum); sedangkan NTPKB menghasilkan rata – rata emisi NOx sebesar 3.49 g/kWh (kenaikan 31% pengujian torsi maksimum) dan 3.31 g/kWh (kenaikan 41% pengujian daya maksimum).



Grafik 5.12. Nilai NOx berdasarkan standard regulasi IMO terhadap perlakuan pengujian torsi maksimum dan daya maksimum

The day will come when you will review your life and be thankful for every minute of it. Every hurt, every sorrow, every joy, every celebration, every moment of your life will be a treasure.... This is why today is called a **PRESENT**



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 KESIMPULAN

Dari analisa data dan pembahasan yang telah dijabarkan di atas, maka dapat diambil beberapa point kesimpulan yang terangkum sebagai berikut :

1. Besi dapat digunakan sebagai pereduksi NO_x mengingat penggunaan katalis besi pada NTP – Katalis menghasilkan kenaikan Torsi maksimum dari kondisi standardnya hingga 3.64% (1.79 kg.m) sedikit lebih rendah dari penggunaan katalis tembaga 4.06% (1.81 kg.m). Sedangkan pada penggunaan daya, katalis besi mampu mempertahankan kondisi maksimum daya sama seperti kondisi standard yaitu pada daya maksimum 3.4 kW sementara katalis tembaga malah menurunkan daya hingga 6.25% (3.2 kW) dari kondisi standardnya. SFOC pada pengujian torsi maksimum meningkat hingga 35.28% (154.87 g/kWh) untuk NTPKB dan 31.32% (145.93 g/kWh) untuk NTPKT. Sedangkan pada pengujian daya maksimum, SFOC meningkat hingga 16.86% (161.45 g/kWh) untuk NTPKB dan 0.61% (135.06 g/kWh) sedikit lebih baik menggunakan NTPKT. Akan tetapi penggunaan katalis besi pada NTPKB mampu mempertahankan penurunan efisiensi efektif hingga 20.3% (0.57) untuk torsi maksimum 10% lebih bagus dari penggunaan NTPKT dengan penurunan hingga 34.4% (0.51). Sedangkan pada pengujian daya maksimum, NTPKB turun hingga 20.5% (0.53), 4.4% lebih bagus daripada NTPKT turun sebesar 24.9% (0.51).
2. Secara umum penggunaan katalis besi lebih efektif digunakan untuk mereduksi NO_x daripada katalis tembaga, mengingat pada NTPKB, daya maksimum lebih bagus, torsi maksimumnya hampir sama dengan penggunaan NTPKT ditambah lagi efisiensi efektif yang lebih baik. Kekurangan penggunaan katalis besi hanya mengarah pada konsumsi bahan bakar yang relatif lebih tinggi dari penggunaan katalis tembaga.

3. Pada pengujian NO_x didapat kesimpulan sebagai berikut :

- Emisi NO_x pada pengujian torsi maksimum Standard sebesar 2.39 g/kWh, untuk penggunaan NTPKT sebesar 3.52 g/kWh (kenaikan 32 %) dan penggunaan NTPKB sebesar 3.49 g/kWh (kenaikan 31 %). Sedangkan pada pengujian daya maksimum, Standard sebesar 1.945 g/kWh, untuk penggunaan NTPKT sebesar 2.79 g/kWh (kenaikan 30 %) dan penggunaan NTPKB sebesar 3.31 g/kWh (kenaikan 41 %).
- Sesuai dengan standart emisi dari *IMO MARPOL Annex VI NO_x Emission Limits*, emisi NO_x pada kondisi pengujian standard , terpasang NTPKT dan terpasang NTPKB masih di bawah standart regulasi. Emisi NO_x terbesar hanya mencapai kisaran 3.51 g/kWh (standart IMO maksimum 9.8 g/kWh).

6.2 SARAN

Hasil pengujian prototip NTP-Katalis Besi membuktikan penggunaan besi sebagai katalis telah dapat mereduksi NO_x walau begitu masih banyak kekurangan baik dalam desain maupun pengujianya, oleh karena itulah perlu pengembangan lebih lanjut terhadap prototip NTP-Katalis.

Kekurangan pertama yaitu katalis besi yang kurang efektif untuk mereduksi NO_x pada motor diesel yang ada saat percobaan karena dimungkinkan daya engine kurang besar (7 kW) sehingga hasil yang dicapai oleh katalis besi masih belum optimal dalam mereduksi NO_x. Oleh karena itulah perlu dicoba kembali dengan menggunakan motor diesel dengan daya yang lebih besar. Selain itu, cara lain yang perlu dicoba adalah dengan menghitung ulang desain prototipe yang ada karena dimungkinkan selain kurang tingginya daya, ketidak sesuaian dimensi desain dengan daya engine juga mempengaruhi kemampuan NTP – Katalis besi dalam mereduksi NO_x.



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- ESI International. (1999). "Diesel Emission Control Strategies Available to The Underground Mining Industry". Washington. Available : [<http://www.epa.gov>.] (dikunjungi Oktober 2004)
- Kogelschatz, U. (2000). "Fundamentals and Applications of Dielectric Barrier Discharges". ABB Corporate Research Ltd. Switzerland. Available : [<http://www.mmlab.dlut.edu.cn>.] (dikunjungi November 2004).
- Kraus, M. Eliasson, B. Kogelschatz, U. Wokaun, A.(2000). "CO₂ Reforming of Methane by the Combination of Dielectric – Barrier Discharges and Catalysis". ABB Corporate Research Ltd. Switzerland. Available : [<http://www.pubs.osc.org>.] (dikunjungi November 2004).
- Lubis, Y. (2003) "Studi Eksperimen Penggunaan Tembaga sebagai Aktif Metal Katalis pada Catalytic Muffler terhadap Emisi NO_x pada Diesel Engine". Tugas Akhir. TM - FTI ITS, Surabaya.
- Mathur. (1980). A course in Internal combustion Engines. New Delhi.
- McKinon, DL. "Future U.S. On-Road Heavy-Duty Vehicle and Engine Emission Control Technology in Meeting Those Standards". Deputy Directions Manufacturers of Emission Control Association.
- Melanie LS. "Technologies for Reducing NO_x Emissions from Non-Road Diesel Vehicles: An Overview". North Central Texas Council of Governments. Available : [<http://www.dfwcleanair.com>] (dikunjungi Oktober 2004)
- Mirmanto, H. Anzip, A. Widiyono, E. Mursid, M. (1999). "Rancang Bangun Catalytic Converter Tembaga (Cu) pada Knalpot Kendaraan Angkutan Kota untuk Menunjang Program Langit Biru". Lemlit ITS.
- Muskhaf, F (2005), "Penerapan Non Thermal Plasma Treatment Untuk Meningkatkan Efektifitas Katalis Tembaga Dalam Mereduksi Emisi NO_x Pada Motor Diesel" Tugas Akhir, JTSP - FTK ITS, Surabaya.

- Panov, AG. Tonkyn, R. Yoon, S. Kolwaite, A. Barlow, S. Balmer, ML. "NO_x Reduction Behaviour of Alumina and Zeolite Catalysts in Combination with Non-Thermal Plasma". Pacific Northwest National Laboratory. DEERS paper.
- Slone, R. Bhatt, B. Puchkarev V. "NO_x Reduction for Lean Exhaust Using Plasma Assisted Catalysts". Noxtech Inc. DEERS paper.
- Standar emisi NO_x motor diesel aturan Marpol annex VI Available :
[<http://www.imo.org/>] (dikunjungi November 2004).
- Sugiarto, AT. (2002). "Atasi Polusi dengan Plasma". Kompas Edisi 14 November.
Available : [<http://www.istecs.org>] (dikunjungi Oktober 2004).
- Thevenin, P. (2002). "Catalytic Combustion of Methane". Departement of Chemical Engineering and Technology. Stockholm.
- Yongho, K. Min-Suk, C. Wan-Ho, S. Young-Hoon, S.(2003). "Comparative Study of Pulsed Corona And Dielectric Barrier Discharges Using Single Streamer Modelling and NO Decomposition Experiment". Korea Institut of Machinery and Materials. Daejon. Available :
[<http://www.cse.poly.ed.hk>.] (dikunjungi November 2004).



LAMPIRAN



LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Asal Sampel : Kota Surabaya
Tanggal Pengambilan : 19 Juni 2005
Petugas : Bpk. Y.L Sugiyanto, ST
dari BTKL Surabaya


Nomor	Lokasi Pengambilan	No. Kode	Jam
1	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	1	
2	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	2	
3	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	3	
4	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	4	
5	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	5	
6	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	6	
7	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	7	
8	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	8	
9	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	9	
10	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	10	
11	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	11	
12	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	12	
13	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	13	
14	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	14	

No	PARAMETER	SATUAN	Nomer Kode												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.	Oksida Nitrogen (NO _x)	ppm	29,5309	32,1434	23,9330	24,1256	26,1722	31,7702	26,9186	25,7990	32,5165	27,6650	18,6082	30,2773	23,9326

Perhatian : Hasil pengujian ini hanya berlaku untuk contoh di atas

Surabaya, 21 Juni 2005

Kepala Instalasi Lab. Udara dan Radiasi


Y.L. Sugiyanto, ST
NIP. 140156615



LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Asal Sampel : Kota Surabaya
Tanggal Pengambilan : 19 Juni 2005
Petugas : Bpk. Y.L Sugiyanto, ST
dari BTKL Surabaya

Nomor	Lokasi Pengambilan	No. Kode	Jam
1	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	15	
2	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	16	
3	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	17	
4	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	18	
5	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	19	
6	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	20	
7	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	21	
8	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	22	
9	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	23	
10	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	24	
11	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	25	
12	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	26	
13	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	27	
14	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	28	

No	PARAMETER	SATUAN	Nomer Kode													
			15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1.	Oksida Nitrogen (NO _x)	ppm	19,8278	22,4402	17,5886	10,4978	16,0958	16,8422	14,9762	14,2298	15,7226	23,1866	24,6794	15,7220	19,8278	17,5886

Perhatian : Hasil pengujian ini hanya berlaku untuk contoh di atas

Surabaya, 21 Juni 2005

Kepala Instalasi Lab. Udara dan Radiasi



Y.L. Sugiyanto, ST
NIP. 140156615



LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Asal Sampel : Kota Surabaya
Tanggal Pengambilan : 19 Juni 2005
Petugas : Bpk. Y.L Sugiyanto, ST
dari BTKL Surabaya

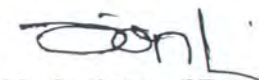
Nomor	Lokasi Pengambilan	No. Kode	Jam
1	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	29	
2	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	30	
3	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	31	
4	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	32	
5	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	33	
6	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	34	
7	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	35	
8	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	36	
9	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	37	
10	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	38	
11	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	39	
12	NO _x dari Emisi mesin Diesel di lab Siskal ITS	40	

o	PARAMETER	SATUAN	Nomer Kode											
			29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	Oksida Nitrogen (NO _x)	ppm	23,5598	23,5598	15,7226	18,7082	15,3494	13,4834	10,4978	22,8134	22,4402	25,0526	25,0526	19,4546

Perhatian : Hasil pengujian ini hanya berlaku untuk contoh di atas

Surabaya, 21 Juni 2005

Kepala Instalasi Lab. Udara dan Radiasi


Y.L. Sugiyanto, ST
NIP. 140156615



LEMBAR KEMAJUAN TUGAS AKHIR

Nama / NRP : Sapto Pambudi / 4200 100 011

Judul Tugas Akhir :

PENGANTIAN KATALIS TEMBAGA MENJADI BESI PADA
PROTOTYPE NTP – KATALIS DALAM MEREDUKSI EMISI NOx

Dosen Pembimbing : 1. Ir. Aguk Zuhdi MF, MEng
2. Ir. M. Orianto, BSE. MSc.


NO	TGL	KEGIATAN	PARAF DOSEN
1.	9/05	Desain TA	R
2.	10/05	Asistensi Bab 1 Pendahuluan	f
3.	11/05	Asistensi Bab 2 Dasar Teori	f
4.	15/05	Asistensi Bab 3 Metodologi	f
5.	12/05	Asistensi Bab 4 Metodologi prototype	f
6.	13/05	Asistensi Penulisan Bab 4	f
7.	21/05	Lampiran literature terbit	f
8.	16/05	Review literature Experiment	f
9.	16/05	SI APICAN EX PERIMENT	f
10.	24/05	CHECK KIRANUS dan data KIRANUS	f
11.	20/05	Penulisan Bab 5	f
12.	2/06	Asistensi Bab 6 dan Bab 7	f
13.	3/06	Revisi lagi eksperimen	f
		Ole	



Catatan (diisi oleh dosen pembimbing)

1. Tugas Akhir telah : layak / ~~tidak layak~~ (*) untuk diujikan.
2. Catatan lain yang dianggap perlu : (bila diperlukan bisa menggunakan halaman kosong dibaliknya).

(*) = coret yang tidak perlu


(Agus Fikri)

* Ditelaah ujian has memenuhi. dosen lagi centuh
penyusunan Final (Agus Fikri)



Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan ITS

Hasil Evaluasi Proposal Tugas Akhir (P1)
Semester Genap T.A. 2004/2005

Nama : SAPTO PAMBUN
NRP : 4200100011
Judul Tugas Akhir : PENGANTIAN KATALIS TEMBAGA HENJIAN
BESI PADA PROTOTYPE NTP - KATALIS PALAM
MEREDUKSI EMISI NOX.

Hasil Evaluasi Presentasi Proposal *)

1. Proposal diterima tanpa perbaikan
2. Proposal diterima dengan perbaikan
3. Proposal ditolak

Bidang Studi yang di Rekomendasikan *)

1. Marine Machinery And Systems (MMS)
2. Marine Power Plant (MPP)
3. Marine Manufacturing and Design (MMD)
4. Marine Electrical and Automatical System (MEAS)
5. Marine Reliability, Availability and Management (PAM)

Dosen Pembimbing yang direkomendasikan **)

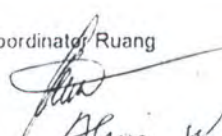
- 1.
- 2.

Catatan Perbaikan :

*) lingkari pada nomor yang dimaksud

**) keputusan akhir mengenai dosen pembimbing ada pada koordinator bidang

Koordinator Ruang


(.....)
NIP. 131 474 402

